

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

JOANA GERALDI VELLOSO

DIRETRIZES PARA CONSTRUÇÕES EM MADEIRA
NO SISTEMA PLATAFORMA

FLORIANÓPOLIS
2010

Arquiteta e Urbanista JOANA GERALDI VELLOSO

DIRETRIZES PARA CONSTRUÇÕES EM MADEIRA
NO SISTEMA PLATAFORMA

Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito parcial exigido pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC, para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Szücs

FLORIANÓPOLIS
2010

JOANA GERALDI VELLOSO

DIRETRIZES PARA CONSTRUÇÕES EM MADEIRA
NO SISTEMA PLATAFORMA

Dissertação aprovada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Civil no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da
Universidade Federal de Santa Catarina

Florianópolis, 22 de abril de 2010

Prof^a. Janaíde Cavalcante Rocha
Coordenadora do PPGEC

Banca Examinadora

Prof. Carlos Alberto Szücs, Dr.
Orientador

Prof^a. Akemi Ino, Dra.
Avaliador Externo - EESC/USP

Prof^a. Poliana Dias de Moraes, Dra.
Avaliador Interno - PPGEC/UFSC

Prof^a. Ângela do Valle, Dra.
Avaliador Interno - PPGEC/UFSC

*Não é a perfeição
com a qual podemos realizar aquilo
que deve ser desejado,
que importa, mas sim que,
o que deve surgir aqui na vida
mesmo se ainda tão imperfeito
surja na vida,
seja uma vez realizado,
de modo que um começo seja feito!*
Rudolf Steiner

AGRADECIMENTOS

À minha linda família, meu amado companheiro Nando e meus filhos João Pedro e Gabriel, por todos os momentos em que deixei de prestar o meu papel de mãe e mulher, para assumir o de pesquisadora e mestrande, deixando o nosso lar e convívio tão importantes no crescimento e formação da família.

A meus pais, Carlos e Mônica, pelo amor e dedicação incondicionais que sempre prestaram na minha educação, sendo um exemplo de caráter e determinação que seguirei por toda a minha vida.

Ao meu irmão, Marcelo, e às minhas queridas famílias Velloso, Geraldi e também Vianna.

À Teresa, meu braço direito, pela amizade e também pela presteza e carinho com que sempre realizou suas tarefas.

Ao professor Carlos Alberto Szücs, pelos ensinamentos nos quase dez anos de convivência, desde o momento em que abriu as portas de sua sala de aula me aceitando como aluna ouvinte de sua disciplina, até as muitas parcerias de trabalho e amizade ao longo dos projetos de pesquisa e do mestrado.

Ao GIEM – Grupo Interdisciplinar de Estudos da Madeira, e a todos os alunos que sempre fizeram do nosso laboratório um ambiente de amizade, respeito mútuo, e prazerosa convivência diária.

Às professoras Ângela do Valle e Poliana Dias de Moraes, pelos ensinamentos e ricas contribuições junto ao GIEM, tanto nos projetos de pesquisa quanto no desenvolvimento de minha dissertação.

Aos colegas de pós-graduação André Luiz Lima, Rodrigo Figueredo Terezo, Altevir Castro dos Santos e Gustavo Lacerda Dias, pela cooperação, amizade e convivência durante muitos anos no GIEM.

Ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - pela concessão de bolsas de estudos na participação nos projetos de pesquisa, que guiaram a minha orientação profissional para o campo das madeiras, e me transformaram numa pesquisadora.

RESUMO

No presente trabalho é apresentado o estudo e detalhamento referente à técnica construtiva empregada no sistema leve em madeira, conhecido como Sistema Plataforma. Tem como objetivo contribuir com o setor produtivo disponibilizando as informações técnicas que permitam a assimilação desse sistema e a sua inserção nas construções em madeira no Brasil. As principais características dos sistemas leves em madeira são, a rapidez na execução e a otimização do uso da matéria-prima, minimizando o desperdício no canteiro de obras. Além disso, a madeira é uma matéria-prima de fonte renovável, que apresenta baixo consumo de energia no seu beneficiamento e produção. É um sistema construtivo apresentado como alternativa bastante viável para a realidade brasileira, já que o país possui uma vasta área coberta por florestas plantadas e um crescente déficit habitacional. Primeiramente, são apresentados os sistemas construtivos em madeira já consagrados nos países desenvolvidos, assim como, os tipos de sistemas pré-fabricados comercializados no Brasil. Após uma descrição mais detalhada dos sistemas leves em madeira, focada no Sistema Plataforma, são apresentados os resultados de experiências recentes com esse tipo de construção, conduzidas no meio científico brasileiro. A avaliação crítica das experiências analisadas possibilitou apontar as vantagens e desvantagens das técnicas empregadas nesse tipo de construção. Como resultado final foi organizado um conjunto de detalhes e critérios de projeto, aplicáveis ao Sistema Plataforma, tendo como base os aspectos mais relevantes, visando proporcionar confiabilidade e um bom funcionamento e desempenho da edificação.

Palavras-chave: construção em madeira; sistema leve em madeira; Sistema Plataforma; técnicas construtivas.

ABSTRACT

This study presents the detailing of construction techniques employed in light wood framing, well known as Platform Framing. The main objective is to contribute to the productive sector, by providing technical information, to enable the assimilation of this system and its inclusion in timber construction in Brazil. The main features of light wood framing are fast on-site construction and optimal use of materials, minimizing waste at the construction site. Furthermore, wood is a renewable raw material source, which features low manufacturing energy use. This construction system is presented to be a viable alternative for the brazilian reality, since the country has a vast area covered by planted forests and a growing housing deficit. First, timber framing construction systems already established in developed countries are presented, as well as prefabricated timber systems in Brazil. After a more detailed description of light wood framed systems, especially Platform System, the results of recent experiments with this type of construction are presented, recently conducted by the brazilian scientific academy. The evaluation of the experiments showed the advantages and disadvantages of the techniques employed, and as a final result, a set of details and design criteria was organized, focused on Platform Framing and based on the most relevant aspects to this construction system, aiming to provide reliability and great performance.

Keyword: timber construction; light wood framing; Platform Framing; construction techniques.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Representação da quantidade de energia necessária para a produção de uma tonelada de madeira, cimento, vidro e aço (adaptação APA, 2005).	50
Figura 2 – Casas construídas com o método enxaimel (IMHOF, 2009).	54
Figura 3 – Casa de dois pavimentos construída no sistema balão (www.hereandthere.com, 2009).	55
Figura 4 – Sistema construtivo em kit pré-cortado (TOPPING et al, 2000).	56
Figura 5 – Painéis de parede e treliças de cobertura pré-fabricados: componentes da construção panelizada chegam prontos ao canteiro de obras (STAMATO, 2009).	57
Figura 6 – Sequência das etapas de montagem de casa modular no canteiro de obras (www.nahb.com, 2009).	57
Figura 7 – Instalação de casa industrializada (<i>manufactured home</i>) no canteiro de obras (www.rebelhomes.net, 2009).	58
Figura 8 – Detalhe do montante em perfil “H” de parede do sistema pilar-viga de tábuas horizontais encaixadas (TEREZO e VELLOSO, 2006).	58
Figura 9 – Parede externa do sistema de tábuas e mata-junta (SZÜCS et al, 2004).	58
Figura 10 – Construção de edifício de apartamentos no Sistema Plataforma em madeira (AWC, 2009).	62
Figura 11 – Pregos do tipo liso e anelado (DIAS, 2005).	63
Figura 12 – Cargas verticais oriundas dos planos superiores e cargas horizontais (vento e sismo) atuantes no Sistema Plataforma (APA, 1999).	63
Figura 13 – Ensaio experimental para avaliação de comportamento estrutural de edifício de sete andares construído no Sistema Plataforma (APA, 2009).	64
Figura 14 – Perspectiva ilustrativa dos subsistemas que compõem a edificação construída no Sistema Plataforma (adaptação APA, 2008(a)).	64
Figura 15 – Autoclave para tratamento de madeira (www.duronmadeiras.com.br, 2009).	65
Figura 16 – Diferentes tipos de fundação para sistemas leves em madeira (DIAS, 2005).	68
Figura 17 – Painéis externos revestidos com chapas de OSB permaneceram preservados após a passagem de um furacão (APA, 2008).	68
Figura 18 – Diagonal de contraventamento da ossatura da parede no encontro de canto (adaptação THALLON, 2000).	69
Figura 19 – Pregos cravados em topo ou em ângulo (DIAS, 2005).	69
Figura 20 – Elementos bloqueadores na ossatura da parede com altura maior do que a chapa de OSB (STAMATO e SACCO, 2008).	70
Figura 21 – Ancoragem dos painéis à fundação (APA, 1999 e AF&PA, 2001).	71
Figura 22 – Fixação da guia de ancoragem na fundação e posicionamento do painel sobre a guia ancorada (SZÜCS et al, 2004).	72
Figura 23 – Travessa superior dupla na ossatura do painel (adaptação THALLON, 2000).	72
Figura 24 – Detalhe em planta baixa e perspectiva do encontro de canto entre paredes (SZÜCS et al, 2007).	73
Figura 25 – Ossatura do painel com abertura de janela (adaptação AF&PA, 2001).	73

Figura 26 – Estrutura de entrepiso, apoiada sobre os painéis do pavimento inferior (adaptação AF&PA, 2001).....	74
Figura 27 – Estrutura de piso de vigas de perfil I em OSB (WIJMA, 2009)	74
Figura 28 – Composição do subsistema piso (adaptação APA, 2007)	75
Figura 29 – Travamento lateral e das extremidades das vigas de perfil I no entrepiso (adaptação APA, 2009)	75
Figura 30 – Diafragmas de piso com (a) e sem (b) elementos bloqueadores ou “blocking” (APA, 2009).....	76
Figura 31 – Trelças pré-fabricadas com chapas-prego (SZÜCS et al, 2004).....	77
Figura 32 - Trelças de grande porte necessitam de equipamentos durante a montagem da cobertura (CWC, 2000(a))	77
Figura 33 – Fixação da trelça na travessa superior da ossatura do painel de parede (SZÜCS et al, 2004)	78
Figura 34 – Utilização de conectores metálicos para fixação de trelças de cobertura (STAMATO, 2009).....	78
Figura 35 – Encaixe das régua de <i>siding</i> evita a entrada de umidade (AF&PA, 2001).79	
Figura 36 – Detalhamento da parede <i>rainscreen</i> (adaptação NAHB, 2002).....	80
Figura 37 – Execução do <i>flashing</i> junto à manta de impermeabilização (CCW, 2006) ..	80
Figura 38 – Etapas de execução do <i>flashing</i> nas aberturas(adaptação APA, 2003)	80
Figura 39 – Etapas da execução do protótipo tecnológico no campus da UFSC (SZÜCS et al, 2004)	82
Figura 40 – Ossatura dos painéis de parede Stella-UFSC (SZÜCS et al, 2004)	83
Figura 41 – Montagem das paredes do protótipo Stella-UFSC no canteiro de obras.....	83
Figura 42 – Composição da ossatura do entrepiso Stella-UFSC (SZÜCS et al, 2004) ..	84
Figura 43 – Fixação chapas de fechamento na cobertura do protótipo Stella-UFSC	85
Figura 44 - Detalhes da instalação da manta junto às esquadrias (KRAMBECK, 2006) 85	
Figura 45 – Cantoneira metálica realiza a fixação do painel à fundação (DIAS, 2005) ..	88
Figura 46 – Fixação da Viga “I” à travessa com cantoneira metálica na composição da plataforma de piso (SANTOS, 2005).....	89
Figura 47 – Fixação dos bloqueadores entre as vigas do piso (SANTOS, 2005).....	90
Figura 48 – Composição das vergas dos painéis <i>Habitar</i> e <i>Battistella</i> (SZÜCS et al, 2007).....	92
Figura 49 – Esquema de ensaio de carga horizontal <i>Battistella</i> (SZÜCS et al, 2007)	93
Figura 50 – Fundação e contrapiso das salas de aula construídas no sistema leve em madeira (STAMATO, 2009).....	94
Figura 51 – Painel de parede da sala de aula (STAMATO, 2009).....	95
Figura 52 – Instalação das trelças pré-fabricadas (STAMATO, 2009).....	96
Figura 53 – Instalação das chapas de fechamento da cobertura e da manta impermeabilizante das paredes (STAMATO, 2009).....	96
Figura 54 – Aplicação de tela e chapisco na parede com acabamento do tipo <i>estucco</i> (STAMATO, 2009).....	97
Figura 55 – Revestimento do tipo <i>siding</i> nas paredes externas (STAMATO, 2009).....	97
Figura 56 – Manta de isolamento acústico colocada nos nichos dos painéis e aplicação do gesso acartonado (STAMATO, 2009).....	98

Figura 57 - - Etapas de montagem de edificação construída no sistema panelizado em madeira (www.nahb.com, 2009).....	101
Figura 58 – Contraventamento da ossatura da parede (adaptação APA, 1999)	102
Figura 59 - Casa em construção com painéis de parede revestidos com chapas de OSB na face externa. Fonte (APA, 2008)	102
Figura 60 – Fixação de <i>parabolt</i> (à esquerda) e dos ganchos de ancoragem na fundação do tipo radier antes da concretagem (à direita) (SZÜCS et al, 2004)	103
Figura 61 – Fixação dos ganchos de ancoragem em viga baldrame junto à concretagem.	103
Figura 62 – Elementos da composição do painel de parede.	105
Figura 63 – Montagem dos painéis de parede realizada por operários em sistema panelizado (www.servicemagic.com, 2009)	106
Figura 64 – Plataforma de piso içada por guindaste (PATH, 1998).....	107
Figura 65 - Vigas de perfil sendo pregadas à guia de ancoragem (APA, 2000 (apud SANTOS, 2005, p.18))	108
Figura 66 – Chapas de fechamento nas extremidades(e) e laterais(l) das vigas de piso (www.apawood.org).....	108
Figura 67 – Fixação das chapas de OSB nas vigas “I” e nos bloqueadores (SANTOS, 2005).....	108
Figura 68 - Estrutura de telhado içada por guindaste e colocada sobre as paredes da edificação (PATH, 1998)	109
Figura 69 – Conectores metálicos auxiliam na fixação das treliças (STAMATO, 2009)	111
Figura 70 – Estrutura de telhado composta por treliças pré-fabricadas (STAMATO, 2009).....	111
Figura 71 – Estrutura de telhado convencional (APA, 2005)	111
Figura 72 – Composição da parede <i>rainscreen</i> (SZÜCS et al, 2007)	112
Figura 73 – <i>Siding</i> de madeira deve formar uma pingadeira, evitando o contato com o solo.	113
Figura 74 – Vedação do entorno das aberturas é garantida pela execução do <i>flashing</i> junto à manta de impermeabilização (OFFICE OF BUILDING TECHNOLOGY, 2000)	113
Figura 75 – Revestimento interno das paredes em madeira.....	114
Figura 76 – Casas construídas no sistema panelizado (www.nahb.org, 2009).	114

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação dos processos construtivos em madeira. Fonte: adaptação ARRUDA (apud KRAMBECK, 2006).	59
Tabela 2 - Classificação dos sistemas construtivos em madeira no Brasil sob enfoque da produção. Fonte: adaptação SILVA e INO, 2008.	60
Tabela 3 - Resultados médios alcançados no ensaio de carga vertical. Fonte: adaptação VELLOSO et. al, 2008	92
Tabela 4 - Resultados médios alcançados no ensaio de carga horizontal. Fonte: adaptação VELLOSO et. al, 2008.	93
Tabela 5 – Recomendações para ancoragem dos painéis à fundação. Fonte: IRC, 2009.	104
Tabela 6 – Recomendações para paredes estruturais segundo o IRC (2009).	105
Tabela 7 – Recomendações para plataformas de piso segundo o IRC (2009) e o UBC(1997).	107
Tabela 8 - Recomendações para estruturas de telhado segundo o IRC (2009).	110

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AF&PA – American Forest and Paper Association

AITC - American Institute of Timber Construction

APA – The Engineered Wood Association

AWC - American Wood Council

CTC – Centro Tecnológico

EBRAMEM - Encontro Brasileiro em Madeira e Estruturas de Madeira

ECV - Engenharia Civil

Finep – Financiadora de Estudos e Projetos

FPL – Forest Products Laboratory

GIEM - Grupo Interdisciplinar de Estudos da Madeira

IBRAMEM – Instituto Brasileiro da Madeira e das Estruturas da Madeira

LEE – Laboratório de Experimentação em Estruturas

NAHB – National Association of Home Builders

PósARQ – Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo

Sinat - Sistema Nacional de Avaliações Técnicas

UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina

Unesp – Universidade Estadual Paulista

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1.INTRODUÇÃO	25
1.1.ABORDAGEM DO TEMA	49
1.2.JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO TEMA.....	50
1.3.OBJETIVOS.....	52
1.3.1. Objetivo Geral	52
1.3.2.Objetivos Específicos	52
1.4.PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	52
1.5.ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	53
CAPÍTULO 2.SISTEMAS CONSTRUTIVOS EM MADEIRA SOB O ENFOQUE DA INDUSTRIALIZAÇÃO.....	54
2.1.EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS EM MADEIRA.....	54
2.2.SISTEMAS CONSTRUTIVOS EM MADEIRA INDUSTRIALIZADOS.....	56
2.2.1.Casas em Kits pré-cortados (<i>Pre-cut homes</i>)	56
2.2.2.Casas Panelizadas (<i>Panelized Homes</i>).....	56
2.2.3.Casas Modulares (<i>Modular Homes</i>).....	57
2.2.4.Casas Industrializadas (<i>Manufactured Homes</i>).....	57
2.3.CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS EM MADEIRA ENCONTRADOS NO BRASIL.....	58
CAPÍTULO 3.A CONSTRUÇÃO COM O SISTEMA PLATAFORMA EM MADEIRA E ALGUMAS EXPERIÊNCIAS.....	62
3.1.O SISTEMA PLATAFORMA E SUA COMPOSIÇÃO.....	62
3.1.1.A madeira empregada nas construções.....	65
3.1.2.Fundação.....	67
3.1.3.Parede.....	68
3.1.4.Piso.....	74
3.1.5.Telhado.....	76
3.1.6.Acabamento.....	78
3.2.REFERÊNCIA nº 1: SISTEMA STELLA-UFSC.....	81
3.3.REFERÊNCIA nº 2: ESTUDO EXPERIMENTAL DE PAREDES ESTRUTURAIS E DIAFRAGMAS DE PISO	86
3.3.1.Paredes estruturais.....	87
3.3.2.Diafragmas de piso.....	88
3.4.REFERÊNCIA nº 3: OTIMIZAÇÃO DO SISTEMA STELLA-UFSC.....	91
3.5.REFERÊNCIA nº 4: PROJETO EDUCAÇÃO EM MADEIRA UNESP	94
3.5.1.Paredes.....	95
3.5.2.Telhado.....	96
3.5.3.Acabamentos.....	97
CAPÍTULO 4.DETALHES E CRITÉRIOS DE PROJETO APLICADOS NO SISTEMA PLATAFORMA.....	100
4.1.CONTRAVENTAMENTO DOS PAINÉIS	102
4.2.ANCORAGEM DAS PAREDES À FUNDAÇÃO.....	103

4.3.PAREDES ESTRUTURAIS.....	104
4.4.PLATAFORMAS DE PISO.....	107
4.5.TELHADOS.....	109
4.6.ACABAMENTO DAS PAREDES.....	112
CAPÍTULO 5.CONSIDERAÇÕES FINAIS	115
5.1.CONCLUSÕES	115
5.2.SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	117
CAPÍTULO 6.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	119
ANEXO 1 – GLOSSÁRIO.....	125

CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO

1.1. ABORDAGEM DO TEMA

Os sistemas leves em madeira, especialmente o Sistema Plataforma, consagrados em muitos países da América do Norte, da Europa e também no Japão, empregam técnicas que evoluíram ao longo do tempo, e hoje são capazes de oferecer vantagens que vão além da pré-fabricação e conseqüente redução de mão-de-obra na execução. A preocupação com o desempenho técnico, a durabilidade, a fabricação na indústria e a montagem em obra, assim como, a relação direta existente entre estes itens, é traduzida em construções de qualidade elevada. Isto porque, para a concepção das soluções técnicas, são levados em conta o processo de fabricação e a montagem em obra, buscando equacionar todas as variáveis envolvidas.

No Brasil, o preconceito com a madeira, gerado pela falta de informação e má utilização do material, principalmente devido à carência de conhecimento técnico, acaba denegrindo a imagem das construções em madeira no país. Nota-se, que as casas em madeira no Brasil, têm uma conotação de casa provisória, fazendo-se uma associação direta da tipologia construtiva com a rapidez de execução, mas também com a incapacidade de oferecer qualidade e desempenho satisfatórios.

Por outro lado, como o país tem matéria-prima abundante e uma legislação cada vez mais restritiva em relação ao uso de madeiras de florestas nativas, existe uma tendência de se utilizar madeiras provenientes de florestas plantadas, notadamente de *pinus* e de eucalipto. As espécies com madeira de baixa densidade, como as de *pinus*, se adéquam perfeitamente à utilização em sistemas construtivos como os sistemas leves, cuja estrutura é formada por entramados de madeira. Logo, o Sistema Plataforma utiliza na composição deste entramado ou ossatura, peças curtas e de pequena seção transversal. Essa característica é típica de madeiras provenientes de florestas plantadas, produzidas em árvores de rápido crescimento, que atingem a idade de corte mais precocemente do que as madeiras nativas e que precisam ser comercializadas nessa fase de crescimento para serem comercialmente viáveis.

Assim, as construções em madeira se mostram uma opção bastante viável, também para a realidade brasileira, principalmente nos dias de hoje quando é grande a preocupação com a utilização de matérias-primas de fonte renovável e com baixo consumo de energia na sua produção. Porém, a madeira deve ser empregada nas construções com tecnologia, que deve ser utilizada com consciência ambiental, visando a sustentabilidade do planeta.

1.2. JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA DO TEMA

Nos últimos anos, a crise financeira mundial afetou consideravelmente a indústria da construção civil. No Brasil, a necessidade das empresas se diferenciarem no mercado tornou-se ainda mais premente, sendo que as principais vertentes nessa disputa de mercado são a ecoeficiência e a industrialização. Poucas empresas já demonstravam uma maior conscientização em relação a esses aspectos, porém a grande maioria está enxergando apenas agora a viabilidade de se fazer uma construção de forma viável e responsável, dentro do conceito da industrialização. Os ativos mais importantes da indústria da construção civil no século XXI são a tecnologia aliada ao conhecimento (KISS, 2008).

Neste cenário, a madeira é apresentada como material que vai ao encontro da sustentabilidade e da ecoeficiência na construção. Numa análise comparativa entre alguns materiais utilizados com frequência na construção civil, a madeira é a que apresenta menor gasto de energia no seu beneficiamento e produção. Esta comparação pode ser observada na Figura 1, onde a ilustração dos tonéis emitidos pelas fábricas representa o gasto de energia na produção de uma tonelada de cada material apresentado. Ou seja, é necessário um gasto de energia 5 vezes maior na produção do cimento, 14 vezes maior na do vidro e até 24 vezes maior na produção do aço, se comparados à produção de madeira (APA, 2005).

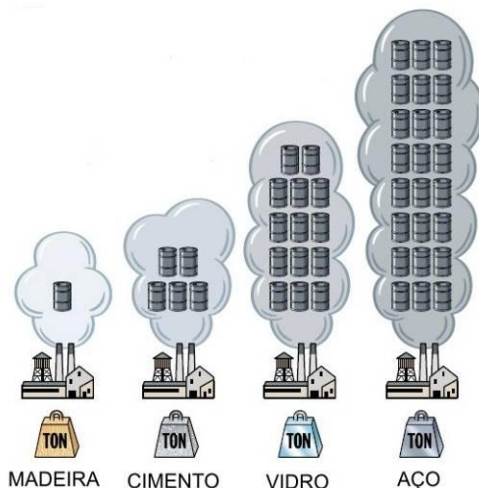


Figura 1 – Representação da quantidade de energia necessária para a produção de uma tonelada de madeira, cimento, vidro e aço. Fonte: adaptação APA, 2005.

Ainda segundo a APA (2005), além de apresentar menor gasto de energia em sua produção, a madeira é um excelente isolante térmico, fazendo com que uma edificação construída com este material, empregado de forma adequada, também necessite de menor gasto de energia na manutenção da temperatura em seu ambiente interno, durante sua utilização.

Quando avaliado o ciclo da madeira como material de construção, percebe-se que as vantagens estão presentes em todas as etapas. Na primeira etapa, de formação e constituição do material, por ser um material de fonte renovável, consome apenas energia solar no processo de crescimento da árvore pela fotossíntese, e seqüestra o carbono poluente da atmosfera. Depois que a árvore se transforma em madeira, também apresenta baixo consumo de energia no seu beneficiamento e transformação em material de construção propriamente dito, como já citado anteriormente. Na segunda etapa, de emprego na construção, mostra-se um material leve, de fácil trabalhabilidade, promovendo uma construção seca e um canteiro de obras limpo, além de proporcionar agilidade na execução e conseqüente redução de custos. E em sua etapa final, transformado em uma edificação com grande potencial estético, além de poder apresentar excelente condicionamento térmico, é na forma de bem durável que proporcionará o armazenamento do carbono seqüestrado da atmosfera, por muitos anos.

A iniciativa de melhorar o grau de industrialização dos sistemas construtivos por meio da pré-fabricação de componentes, ou pela racionalização do processo construtivo como um todo, apresenta-se como alternativa para as práticas tradicionalmente utilizadas na construção civil brasileira. Os objetivos seriam aumentar a produtividade, diminuir custos, e conseqüentemente, tornar a construção mais ágil e econômica, sem comprometer a qualidade (DIAS, 2005). Os sistemas construtivos industrializados, em madeira, são capazes de atender estes requisitos de forma a serem uma alternativa viável na tentativa de suprir também o déficit habitacional existente no país, onde a população possa dispor de habitações com qualidade.

De acordo com a AF&PA (2001), a história tem demonstrado a força e a durabilidade inerentes às edificações construídas sob o sistema leve em madeira. Hoje, este é o método predominante de construção de casas e apartamentos nos Estados Unidos, isto porque os sistemas leves em madeira são econômicos em sua construção, proporcionam excelente conforto térmico aos usuários e permitem grande flexibilidade de projetos arquitetônicos.

No Japão, o setor de construções em madeira é o segundo maior do mundo, ficando atrás apenas dos Estados Unidos. Porém, um fato bastante relevante nessa análise é que a população do Japão, de 125 milhões de habitantes, é igual à metade da população americana, o que faz com que,

proporcionalmente, o Japão fique então no lugar de maior consumidor de materiais para construções em madeira no mundo. Uma estimativa de consumo desse material, na construção da habitação no Japão, indica que representa 85% dos materiais empregados (AWC, 2008).

Analisando a possibilidade de emprego no Brasil, observa-se que o Sistema Plataforma apresenta um nível de industrialização compatível e viável com a realidade da indústria brasileira. Neste sentido, faz-se necessário um estudo para adequar essa técnica construtiva às condicionantes da indústria, do clima do país, da possibilidade de financiamento, das questões sociais e culturais, entre outros aspectos relevantes.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é apresentar um detalhamento técnico-construtivo relativo ao sistema em madeira denominado Plataforma, visando gerar novas possibilidades para as construções em madeira no Brasil.

1.3.2. Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- a.** Examinar os sistemas construtivos em madeira existentes e as técnicas utilizadas, sob o enfoque da industrialização;
- b.** Analisar experiências e relatar os resultados de estudos relacionados às construções em madeira no Sistema Plataforma no Brasil;
- c.** Sistematizar informações obtidas a partir da avaliação das experiências estudadas, apontando detalhes e critérios de projeto para a construção de edificações no Sistema Plataforma, com o intuito de auxiliar profissionais da área da construção civil no Brasil.

1.4. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Primeiramente, foi realizado um levantamento bibliográfico referente às técnicas utilizadas nos sistemas construtivos em madeira no Brasil e no mundo, dando enfoque à industrialização e racionalização da construção, que são temas presentes no Sistema Plataforma.

Para a fundamentação teórica foram selecionadas algumas experiências representativas de construção no Sistema Plataforma conduzidas no meio científico do país. Através do método descritivo são apresentados os detalhes técnicos de cada parte que compõe o sistema, ou seja, de cada subsistema. A

escolha de tais experiências se deve ao fato da autora ter participado direta ou indiretamente, desde o ano de 2002, de praticamente todas as pesquisas relacionadas ao tema sistemas leves em madeira, desenvolvidas no Giem/UFSC (Grupo Interdisciplinar de Estudos da Madeira da Universidade Federal de Santa Catarina). A Investigação qualitativa foi baseada não somente na revisão bibliográfica das experiências selecionadas, mas também no conhecimento adquirido pela autora no meio acadêmico e em sua experiência profissional com a construção de edificações no sistema leve em madeira.

Como conclusão, por se tratar de uma pesquisa aplicada, as informações obtidas através da avaliação crítica das experiências ou referências estudadas foram sistematizadas e organizadas em tópicos, com o intuito de auxiliar os profissionais da área da construção civil na compreensão e domínio do Sistema Plataforma. A organização das informações levou em conta a importância dos detalhes e técnicas construtivas inerentes ao seu bom funcionamento e desempenho, principalmente por se tratar de um sistema construtivo autoportante e que pode ser concebido de forma parcialmente industrializada.

1.5. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

A dissertação está subdividida em seis capítulos, descritos a seguir.

No **primeiro capítulo**, a **Introdução** aborda o tema da pesquisa, bem como sua justificativa e relevância. Ainda no mesmo capítulo são indicados os objetivos da dissertação, geral e específicos, assim como, os procedimentos metodológicos adotados para que os mesmos sejam alcançados.

Os **Capítulos 2 e 3** apresentam a **Fundamentação teórica**. O **Capítulo 2** traz um levantamento bibliográfico sobre os sistemas construtivos existentes em madeira, e mais utilizados no Brasil e no mundo, com os diferentes níveis de industrialização encontrados. No **Capítulo 3** é feita uma descrição detalhada do Sistema Plataforma e são apresentados os resultados de estudos e pesquisas experimentais conduzidos no meio científico brasileiro.

O **Capítulo 4** traz a **Análise e discussão do problema abordado na pesquisa**, como resultado de uma análise crítica das referências estudadas no capítulo anterior. São sugeridos e organizados, em tópicos, detalhes e critérios de projeto para o Sistema Plataforma.

No **Capítulo 5** são apresentadas as **Conclusões** e as sugestões para pesquisas futuras.

O **Capítulo 6** relaciona as **Referências bibliográficas** utilizadas na elaboração desta dissertação.

CAPÍTULO 2. SISTEMAS CONSTRUTIVOS EM MADEIRA SOB O ENFOQUE DA INDUSTRIALIZAÇÃO

2.1. EVOLUÇÃO DOS SISTEMAS CONSTRUTIVOS EM MADEIRA

Uma das principais características do Sistema Plataforma é a utilização de peças curtas na composição do sistema estrutural da edificação. Analisando o histórico dos sistemas construtivos no mundo, pode-se dizer que, a evolução do emprego de peças longas na estrutura para a utilização de peças mais curtas, aconteceu em dois momentos. O primeiro momento, no final da Idade Média e após o século XV, ocorreu com o método construtivo conhecido como **enxaimel**. E o segundo momento, foi o da evolução dos sistemas **nervurados**, que surgiram com a Revolução Industrial no século XIX. As peças mais curtas facilitam o transporte e a montagem da edificação, além de serem mais facilmente encontradas, já que os longos troncos de madeira provêm de árvores com idade mais avançada.

No final da Idade Média, o método mais utilizado na Europa para se construir era o enxaimel (Figura 2). Esse método consiste num entramado de peças estruturais de madeira, preenchido com alguns tipos de materiais, como: saibro, tijolos de barro ou pedras. Em meados do séc. XVI, o método enxaimel de peças longas, que utiliza pilares que vão do piso inferior até a cobertura, foi substituído pelo enxaimel de peças curtas, cujos pilares são interrompidos a cada pavimento, por vigas intermediárias que formam a estrutura horizontal de piso, servindo de plataforma para a montagem do pavimento seguinte. Este novo método possibilitou a construção de edificações com 5 ou até 6 pavimentos (CTBA, 1995). O método enxaimel é também conhecido por *fachwerk*, na Alemanha, e por *colombage*, na França. O termo em inglês para designar este método construtivo é *half-timbered*. No Brasil, é encontrado em regiões de colonização alemã, principalmente no estado de Santa Catarina.



Figura 2 – Casas construídas com o método enxaimel. Fonte: IMHOF, 2009.

Esta tradição de se construir em madeira foi levada da Europa para a América do Norte pelos imigrantes, e facilitada pelo desenvolvimento das serrarias no séc. XIX, proporcionado pela revolução industrial, quando surgiram também os elementos metálicos para ligações. A partir daí, a técnica do enxaimel evoluiu para os sistemas conhecidos como nervurados (CTBA, 1995). Segundo Carlson e Dluhosch (1984), a construção em madeira na América do Norte teve seu grande salto em 1833, com a criação do **sistema balão** ou *balloon framing* (Figura 3). Desta forma, aos poucos foi sendo deixado de lado o antigo método de construção, importado da Europa, que utilizava peças de madeira de grandes dimensões, para se construir de um modo muito mais rápido e fácil, pelo emprego de peças de dimensões menores e bem mais leves que as utilizadas até então.



Figura 3 – CASA de dois pavimentos construída no sistema balão. Fonte: www.hereandthere.com, 2009.

No sistema balão, muito empregado até meados do século XX, a seção transversal das peças de madeira foi reduzida e, no fechamento das paredes, passaram a ser utilizadas tábuas de madeira, que contribuíam também para a rigidez estrutural do conjunto. Assim como no sistema enxaimel de peças longas, o entramado do sistema balão é composto por colunas de peças contínuas, que vão do piso inferior até a cobertura.

A evolução dos sistemas nervurados se deu pela passagem do sistema balão para o **Sistema Plataforma**, quando por volta de 1920, novamente se passou a utilizar peças curtas no lugar de peças longas. O Sistema Plataforma é um sistema nervurado, ou um entramado estrutural em madeira, composto de planos horizontais formando o piso de cada pavimento, sobre os quais são sobrepostos os planos verticais formando as paredes, e assim sucessivamente.

Após a Segunda Guerra Mundial, por volta dos anos 50, quando se buscava também a racionalização da construção, surgem no mercado os conectores metálicos estampados e com isso, as treliças pré-fabricadas para

telhados, que logo começaram a ser produzidas em escala industrial. Em 1960, passaram a ser também produzidos em fábrica os painéis de parede, o que deu início às construções **panelizadas**. A partir daí, o nível de industrialização dos elementos e componentes evoluiu, primeiramente, para as casas modulares e posteriormente, para as casas totalmente industrializadas, como será visto a seguir (SZÜCS et al, 2007).

2.2. SISTEMAS CONSTRUTIVOS EM MADEIRA INDUSTRIALIZADOS

Nos países da América do Norte, os sistemas leves em madeira são hoje, praticamente em sua totalidade, construídos sob as técnicas do Sistema Plataforma. São fabricados em diferentes níveis de industrialização, descritos nos itens seguintes (PATH, 2003 e SZÜCS et al, 2007).

2.2.1. Casas em Kits pré-cortados (*Pre-cut homes*)

A forma mais artesanal e tradicional de se construir sob os métodos e técnicas dos sistemas leves em madeira é conhecida como *Stick-built ou Stick framing*. Este tipo de construção tradicional é comercializado, muitas vezes, na forma de kits pré-fabricados na indústria. Os kits são compostos de peças de madeira pré-cortadas nas seções transversais definidas em projeto, e toda a ossatura é montada no canteiro de obras, como mostra a Figura 4.



Figura 4 – Sistema construtivo em kit pré-cortado. Fonte: TOPPING et al, 2000.

2.2.2. Casas Panelizadas (*Panelized Homes*)

Além da comercialização de casas em kits de madeira pré-cortada, a maior parte das edificações norte-americanas é construída utilizando-se componentes industrializados, com maior valor agregado. São produzidos na forma de painéis de parede e treliças de cobertura pré-fabricadas, visando reduzir o tempo de execução no canteiro de obras (Figura 5). Além disso, é mais fácil

garantir a confiabilidade dimensional dos elementos e componentes produzidos no ambiente de fábrica, para que posteriormente a montagem da edificação no canteiro seja realizada, sem a necessidade de ajustes, ou de retrabalho.



Figura 5 – Painéis de parede e treliças de cobertura pré-fabricados: componentes da construção panelizada chegam prontos ao canteiro de obras. Fonte: STAMATO, 2009.

2.2.3. Casas Modulares (*Modular Homes*)

As casas modulares estão um patamar acima das casas panelizadas, já que seus componentes apresentam um maior grau de industrialização. Na indústria, são fabricados módulos tridimensionais que vão compor a edificação montada no canteiro de obras (Figura 6), obedecendo aos mesmos códigos de construção norte-americanos referentes às casas em *kits*, ou às panelizadas. Na maioria das vezes estes módulos já possuem as esquadrias instaladas e até mesmo as instalações já embutidas nas paredes.



Figura 6 – Sequência das etapas de montagem de casa modular no canteiro de obras. Fonte: www.nahb.com, 2009.

2.2.4. Casas Industrializadas (*Manufactured Homes*)

A casa industrializada (*manufactured home*) é transportada inteiramente pronta ao canteiro de obras, com as instalações elétricas e hidráulicas, e inclusive o acabamento das paredes, já finalizados. Para o transporte, é instalada sobre um chassi metálico (Figura 7). Todas as especificações, desde o projeto arquitetônico até as instalações de todos os sistemas, devem atender os requisitos de um código americano específico, o *HUD Code* (1976). A casa

industrializada é também conhecida pelo termo *mobile home*, ou casa móvel, apesar de atualmente serem raros os casos em que são deslocadas depois de instaladas no canteiro de obras.



Figura 7 – Instalação de casa industrializada (*manufactured home*) no canteiro de obras.

Fonte: www.rebelhomes.net, 2009.

2.3. CLASSIFICAÇÃO DOS SISTEMAS EM MADEIRA ENCONTRADOS NO BRASIL

No Brasil, há uma escassez de estudos relevantes sobre os sistemas construtivos em madeira, e as informações sobre a utilização da madeira na construção, permanecem praticamente restritas aos trabalhos realizados no meio acadêmico (BITTENCOURT e MIYADAIRA, 2004). Portanto, neste item procura-se ilustrar o panorama dos sistemas em madeira comercializados atualmente no país. Sabe-se, que em sua maioria, apresentam baixo nível de industrialização dos componentes e pouca tecnologia incorporada nas etapas do processo construtivo, sendo incapazes de oferecer edificações de qualidade.

De acordo com Siva e Ino (2008), dentre os sistemas comercializados no Brasil ditos pré-fabricados estão dois tipos de sistema pilar-viga: os sistemas com vedação em tábuas horizontais encaixadas em montantes de seção “H” (Figura 8), e os sistemas em “kits pré-cortados” com tábuas e mata-junta (Figura 9), que são os mais disseminados no país.



Figura 8 – Detalhe do montante em perfil “H” de parede do sistema pilar-viga de tábuas horizontais encaixadas. Fonte: TEREZO e VELLOSO, 2006.



Figura 9 – Parede externa do sistema de tábuas e mata-junta. Fonte: SZÜCS et al, 2004.

O sistema de tábua e mata-junta, que tem as tábuas dispostas lado a lado no sentido vertical, na verdade deve ser considerado como um sistema nervurado ou entramado, e não como um sistema pilar-viga, já que as tábuas, pregadas à estrutura principal de peças de pequena seção transversal, funcionam não somente como fechamento, conforme indicação de Silva e Ino (2008), mas agem solidariamente compondo o sistema estrutural do conjunto.

Considerando a complexidade das etapas construtivas e o grau de industrialização incorporado, Arruda (apud KRAMBECK, 2006, p.47) classificou os sistemas construtivos em: não industrializados, semi-industrializados e industrializados, discriminados na Tabela 1.

Tabela 1 - Classificação dos processos construtivos em madeira. Fonte: adaptação ARRUDA (apud KRAMBECK, 2006).

PROCESSO CONSTRUTIVO		CARACTERÍSTICAS
NÃO INDUSTRIALIZADO	ARTESANAL	Tecnologia inexistente. Baixa produtividade Matéria-prima local.
	TRADICIONAL	Madeira beneficiada na serraria nas dimensões a serem utilizadas. Ferramentas simples de carpintaria.
SEMI-INDUSTRIALIZADO	TRADICIONALMENTE RACIONALIZADO	50% atividades na indústria. 50% atividades no canteiro. Elementos usinados conforme projeto.
	PARCIALMENTE PRÉ-FABRICADO	Preparação dos elementos e montagem de componentes na fábrica. Coordenação modular
INDUSTRIALIZADO	TOTALMENTE PRÉ-FABRICADO	Produção altamente mecanizada. Mão-de-obra especializada. Prazos curtos na etapa de montagem.

Se tomada por base esta classificação, pode-se dizer que, no Brasil, a grande maioria dos sistemas construtivos em madeira existentes no mercado, não pode ser considerada pré-fabricada. No conceito da pré-fabricação, grande parte das atividades é realizada na indústria, e nos sistemas em madeira brasileiros, muitas etapas são realizadas no canteiro de obras.

Segundo Bittencourt e Miyadaira (2004), outros critérios, além do grau de industrialização, também podem ser adotados para a classificação dos processos e sistemas construtivos. São eles: o índice de industrialização, os elementos empregados, o peso dos elementos, a disposição dos elementos estruturais, a finalidade da obra, o material dominante, as dimensões dos elementos e o lugar de realização (fabricação ou montagem) dos elementos.

Sob o enfoque da produção, os sistemas construtivos podem ser divididos em dois grupos: os que empregam técnicas tradicionais e os que utilizam técnicas contemporâneas. São ditas tradicionais as seguintes técnicas: as edificações construídas com madeira maciça empilhada e as que possuem um entramado com vedações em diferentes materiais. A técnica tradicional do entramado seria o enxaimel, que posteriormente evoluiu para os sistemas nervurados, conhecidos por sistema balão e sistema plataforma. Os sistemas contemporâneos agrupam as estruturas hierarquizadas (sistema pilar-viga), as estruturas nervuradas e a estrutura de painéis, aonde existe uma maior preocupação com a racionalização da utilização de matéria-prima e com a otimização da produção (BITTENCOURT e MIYADAIRA, 2004). O Sistema Plataforma é um sistema contemporâneo, do tipo nervurado, que tem suas raízes na técnica tradicional do enxaimel, que inicialmente evoluiu para o sistema balão, até alcançar um maior grau de industrialização na sua produção.

Tabela 2 - Classificação dos sistemas construtivos em madeira no Brasil sob enfoque da produção. Fonte: adaptação SILVA e INO, 2008.

PROCESSO CONSTRUTIVO	SISTEMAS ENCONTRADOS	CARACTERÍSTICAS
TRADICIONAL	ENTRAMADO TAIPA OU PAU-A-PIQUE	Materiais locais. Ferramentas simples. Passado entre gerações.
	TRONCOS NA VERTICAL	
	TRONCOS NA HORIZONTAL	
CONVENCIONAL	ENXAIMEL IBÉRICO	Componentes padronizados Elementos feitos fora do canteiro.
	ENXAIMEL CENTRO-EUROPEU	
	PILAR-VIGA SIMPLES	
RACIONALIZADO	PILAR-VIGA PRÉ-USINADO	Componentes pré-fabricados. Montagem no canteiro a partir de um plano pré-determinado.
	PILAR-VIGA PEÇAS ENCAIXADAS	
	PLATAFORMA	
	PAINÉIS PRÉ-FABRICADOS	
	MADEIRA ROLIÇA TORNEADA	
INDUSTRIALIZADO	não existe correspondente no Brasil	Todos componentes pré-fabricados.

Silva e Ino (2008) também realizaram uma classificação dos sistemas construtivos em madeira no Brasil sob o enfoque da produção, formando quatro grupos distintos: os sistemas tradicionais, os sistemas convencionais, os sistemas racionalizados e os sistemas industrializados (Tabela 2). Para tal classificação, os autores se basearam em teses, dissertações e publicações de relevância científica. O exemplo de Sistema Plataforma identificado no país refere-se ao protótipo tecnológico construído no campus da UFSC no ano de 2004, como parte de projeto de pesquisa do programa Habitare da Finep. A empresa parceira na pesquisa - Battistella Indústria e Comércio Ltda - não comercializa mais casas construídas no sistema Plataforma desde o ano de 2005. O sistema foi classificado como racionalizado, devido ao significativo número de atividades realizadas no canteiro de obras, e por isso não pode ser considerado como um sistema industrializado. Portanto, os autores concluíram que não existe exemplar correspondente do sistema industrializado no Brasil.

Além do enfoque na produção dos sistemas construtivos em madeira, os autores realizaram uma classificação e sistematização sob o enfoque estrutural, dividindo-os em quatro grupos: os sistemas pilar-viga, os sistemas entramados, os de painéis e os de troncos encaixados. Esta sistematização contribui na compreensão da evolução dos sistemas e do que já foi realizado em termos de técnicas e processos construtivos, direcionando assim a proposição de novas alternativas a serem feitas no âmbito nacional.

Sendo assim, os sistemas construtivos em madeira normalmente encontrados e comercializados no Brasil são do tipo pilar-viga e do tipo entramado. O pilar-viga pré-usinado ou com peças encaixadas na horizontal é considerado um sistema racionalizado, por realizar grande parte da usinagem e preparação das peças de madeira que compõem a edificação no ambiente de fábrica. O sistema entramado ou nervurado, que seria o de tábuas e mata-junta, muito utilizado pela parte da população menos favorecida do país, pode ser considerado convencional sob o enfoque de sua produção, já que são compostos de *kits* de peças pré-cortadas em fábrica. Porém, em ambos os casos exemplificados, não existe uma preocupação com a seleção da madeira que está sendo utilizada, e estes sistemas também carecem de concepção construtiva e detalhamento adequados. Depois que a casa está pronta, vão surgindo os problemas que resultam da má utilização do material, denegrindo a imagem dos sistemas construtivos em madeira em nosso país.

CAPÍTULO 3. A CONSTRUÇÃO COM O SISTEMA PLATAFORMA EM MADEIRA E ALGUMAS EXPERIÊNCIAS

Por se tratar de um assunto relativamente novo no Brasil, mas devidamente consolidado em muitos países de língua inglesa, a partir deste capítulo serão apresentados alguns termos em inglês, mas sempre indicando a sua tradução ou termo correspondente na língua portuguesa. No Anexo 1 da dissertação foi elaborado um glossário visando facilitar o entendimento e a compreensão do leitor na leitura e em futuras pesquisas acerca do tema Sistemas Leves em Madeira ou *Light Wood Framing*, já que grande parte da bibliografia existente é proveniente de países estrangeiros, portanto em sua maioria apresentadas no idioma inglês. As unidades serão indicadas em milímetros, utilizando o Sistema Internacional de Medidas (SI). Porém, muitas vezes serão referenciadas em polegadas, mas sempre com o cuidado de fazer a equivalência no Sistema Métrico Decimal proposto pelo SI.

3.1. O SISTEMA PLATAFORMA E SUA COMPOSIÇÃO

O Sistema Plataforma consiste numa ossatura ou entramado estrutural de peças de madeira maciça de dimensões reduzidas, dispostas com pouco espaçamento entre as mesmas, mas que ganha resistência e rigidez pelo fechamento com chapas estruturais de madeira reconstituída ou *sheathing* sob ligações feitas por pregos. As peças estruturais que compõem os painéis de parede da edificação erguida sob este sistema têm a altura de apenas um pavimento, formando paredes portantes, sobre as quais são dispostas as plataformas de piso ou entrepisos que, intercaladas sucessivamente, são capazes de formar edificações de até sete pavimentos (APA, 2009). A repetição e sobreposição de paredes e plataformas de piso possibilitam a construção de edificações como o exemplo da Figura 10, um complexo residencial luxuoso de quatro pavimentos nos Estados Unidos, com 267 apartamentos e um total de 30 mil metros quadrados de área construída em madeira, representando a união de simplicidade estrutural e tecnologia de ponta (AWC, 2009).



Figura 10 – Construção de edifício de apartamentos no Sistema Plataforma em madeira.

Fonte: AWC, 2009.

Quanto às ligações pregadas entre as peças que formam os entramados de madeira, Stamato e Sacco (2008) indicam que os pregos utilizados devem ser do tipo anelado ou ardox, que em madeiras macias como as de *pinus* dificultam o arrancamento. Visando melhorar ainda mais a eficiência da pregação, é também recomendado introduzir o prego um pouco inclinado em relação à superfície. A Figura 11 mostra a diferença entre os pregos lisos e anelados encontrados no varejo brasileiro.



Figura 11 – Pregos do tipo liso e anelado. Fonte: DIAS, 2005.

De acordo com Santos (2005), os entramados ou painéis estruturados de parede e de piso que compõem o Sistema Plataforma podem ser chamados de paredes diafragma e diafragmas de piso. Segundo o autor, os diafragmas em madeira são os componentes estruturais mais importantes utilizados em edificações construídas em sistemas leves, pois além de suportarem as cargas verticais garantem sua resistência e rigidez às solicitações laterais decorrentes da ação de vento ou abalos sísmicos. A representação do fluxo ou caminho das cargas está representada na Figura 12.

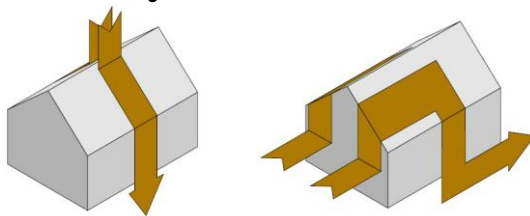


Figura 12 – Cargas verticais oriundas dos planos superiores e cargas horizontais (vento e sismo) atuantes no Sistema Plataforma. Fonte: APA, 1999.

A APA – The Engineered Wood Association (2009(b)), em parceria com cinco universidades norte-americanas e os governos dos Estados Unidos, Canadá e Japão, além de vários representantes da indústria americana voltada para o setor de construções em madeira, realizou uma pesquisa que durou quatro anos e avaliou o comportamento de um edifício de sete pavimentos construído sob a técnica do sistema leve em madeira. Os testes realizados em laboratório na cidade de *Miki City*, no Japão, simularam um terremoto ou abalo sísmico de grande magnitude, e os resultados do comportamento estrutural foram surpreendentemente positivos. Na construção da edificação em

laboratório, mostrada na Figura 13, foram utilizados materiais e componentes industrializados como vigas de seção I, chapas de OSB (*Oriented Strand Board*) no fechamento dos entramados e ainda elementos estruturais em MLC (*Madeira Laminada Colada*).



Figura 13 – Ensaio experimental para avaliação de comportamento estrutural de edifício de sete andares construído no Sistema Plataforma. Fonte: APA, 2009.

Além dos entramados de parede e de piso, ou entrepiso, o Sistema Plataforma é composto de outros subsistemas¹. Krambeck (2006) decompõe a edificação construída sob este sistema nos seguintes subsistemas: fundação, piso/entrepiso, parede, telhado, esquadrias, acabamento e instalações. Na sequência desta dissertação não serão detalhados os subsistemas esquadrias e instalações. Será dada ênfase aos detalhes construtivos dos subsistemas ilustrados na Figura 14, bem como os materiais e componentes utilizados em sua composição, as dimensões das peças, o espaçamento entre as mesmas, o modo de pregação, entre outros.



Figura 14 – Perspectiva ilustrativa dos subsistemas que compõem a edificação construída no Sistema Plataforma. Fonte: adaptação APA, 2008(a).

¹ Segundo Martucci, (apud KRAMBECK, 2006, p. 26), “subsistemas são partes do sistema construtivo que unidas formam a edificação como, por exemplo, fundações, estrutura principal, cobertura, vedação e esquadrias.”

3.1.1. A madeira empregada nas construções

As espécies de madeira provenientes de florestas plantadas do gênero *Pinus sp.* são as mais utilizadas nos sistemas leves em madeira devido a seu rápido crescimento e sua fácil trabalhabilidade (PATH, 2000).

Stamato e Sacco (2008) ressaltam que as madeiras comumente utilizadas nos sistemas leves em madeira são de *pinus*, e na América do Norte a sigla SYP (*Southern Yellow Pine*) designa as espécies de rápido crescimento. Com características físicas e mecânicas semelhantes têm-se, no Brasil, o *pinus elliotti* e o *pinus taeda*, que são os mais encontrados nas florestas plantadas do país. Algumas espécies de madeira possuem durabilidade natural, porém o *pinus* tem baixa resistência biológica e necessita de tratamento para resistir aos agentes degradadores e garantir o seu desempenho durante a vida útil da edificação, principalmente em se tratando de um país com o clima quente e úmido como o Brasil.

Os métodos de tratamento preservativo da madeira consistem na adoção de técnicas que têm como objetivo a proteção da madeira contra a ação dos agentes físicos, químicos e principalmente biológicos: fungos apodrecedores e insetos xilófagos. O tratamento mais utilizado para madeiras de baixa densidade é o realizado em autoclave por vácuo-pressão (Figura 15), que possibilita a penetração do preservativo na madeira. No Brasil, o tratamento em autoclave, geralmente, é feito com um preservativo hidrossolúvel que possui alta resistência à lixiviação - o CCA (Arseniato de Cobre Cromatado) do tipo C – capaz de garantir a durabilidade da madeira, mesmo em contato com o solo, e principalmente a sua resistência ao ataque de cupins, por mais de 30 anos. Apesar de bastante eficaz, os resultados de alguns estudos apontam que o arsênio contido no CCA pode ser tóxico para o ser humano no processo de tratamento, no contato com a madeira tratada e no descarte final.



Figura 15 – Autoclave para tratamento de madeira. Fonte: duronmadeiras.com.br, 2009.

De acordo com a U. S. *Environmental Protection Agency* (2008), a partir de 2003 o tratamento de madeira com o preservativo CCA foi banido para a grande maioria de usos para fins residenciais, como *decks* e *playgrounds* para crianças. Desde então, vários preservativos alternativos ao CCA, principalmente à base dos elementos químicos cromo e boro, têm sido pesquisados e muitos vêm sendo utilizados no tratamento de madeiras, entre eles o ACQ (*Alkaline Cooper Quaternary* ou Quaternário de Amônia e Cobre) e o CA (*Cooper Azole* ou Azóis de Cobre).

Este assunto referente à madeira tratada, os riscos associados e sua sustentabilidade é bastante complexo, e não será aprofundado na presente dissertação. O uso da madeira tratada na construção, assim como qualquer outro material, deve ser feito de forma racional. As madeiras tratadas com os preservativos à base de boro são muito eficientes se utilizadas em ambientes protegidos do contato com a água, já que o produto é lixiviável. Na América do Norte, a madeira tratada é comercializada em diferentes graus de tratamento para cada preservativo, ou seja, diferentes níveis de retenção do produto, dependendo do seu uso. A madeira ou componente que será empregado numa fundação, por exemplo, necessita ser mais resistente e receber uma quantidade maior de preservativo do que a madeira que não entrará em contato com o solo. Procedimento semelhante poderia ser cumprido também no Brasil, desde que houvesse a prescrição por parte dos projetistas. Neste sentido, a NBR7190/97 está sendo revisada e atualizada pelo comitê técnico, e deverá preconizar os níveis de retenção e os tipos de tratamento indicados para cada madeira. Existe ainda um projeto de norma em andamento que trata de categorias de uso das madeiras e a melhor adequação de produtos e processos de tratamento, considerando a finalidade de uso e o destino final (MONTANA QUÍMICA, 2009).

Como já visto anteriormente, a madeira, se comparada a outros materiais como o aço e o concreto, apresenta baixo consumo de energia em seu ciclo de produção, e as florestas capturam grande parte do gás carbônico existente na atmosfera. Em se tratando de bens duráveis, como as casas de madeira, este carbono permanece seqüestrado por muito tempo. Não há dúvida de que se trata de um excelente material de construção, porém questões referentes à escolha do material como, por exemplo, a procedência da madeira (se é certificada ou não), os tratamentos preservativos, entre outros, são assuntos que merecem um estudo mais específico, já que o tema sustentabilidade envolve muitas variáveis, sendo inviável considerá-las de forma isolada quando se decide realizar uma construção sustentável.

Para que se possa fazer um uso racional em função de seu uso na construção, além das questões discutidas anteriormente, relacionadas à escolha da madeira a ser utilizada, deve-se de início fazer um correto manejo

na produção das florestas plantadas para que, posteriormente, no momento em que a árvore é transformada no material madeira, se possa conhecer a espécie e a idade da mesma. Isto porque as madeiras de idades e espécies diferentes apresentam comportamento físico e mecânico muito distintos. Além disso, antes a madeira deve passar por procedimentos corretos de secagem e usinagem e receber tratamento adequado, quando necessário. Se a madeira for utilizada para fins estruturais, torna-se de grande importância que tenha uma caracterização por classes de resistência. Como enfatizam Szücs e Velloso (2006), se no Brasil as madeiras fossem comercializadas dentro do que especifica a norma brasileira NBR7190/97, que preconiza a classificação das madeiras por classe de resistência, seria possível optar pela compra de um material mais adequado às necessidades da produção da empresa ou do comprador. Os códigos norte-americanos designam usos determinados para cada classe de madeira, levando em consideração aspectos como espécie, idade e condição climática no momento da manufatura e desdobro. Segundo Santos (2005), nos EUA e Canadá, os projetos de sistemas leves de madeira são realizados baseados em tabelas elaboradas a partir de ensaios experimentais, considerando-se as características de dimensões e propriedades desejadas.

Falta no Brasil uma classificação que permita o conhecimento mais aprofundado da madeira que está sendo comercializada como material de construção, para que possa ser utilizada de uma forma mais racional. Em se tratando de sistemas construtivos em madeira como o Sistema Plataforma, que dispensa o uso de vigas e pilares, pois é baseado em uma trama estrutural autoportante, é fundamental que se conheça a madeira a ser utilizada, bem como suas características físicas e mecânicas.

3.1.2. Fundação

A base ou fundação do Sistema Plataforma deve ser preparada antecipadamente à chegada dos componentes em madeira que irão compor a edificação. Nela serão fixados os painéis de parede que formarão o primeiro pavimento, em muitos casos, a plataforma do piso térreo da edificação.

Segundo Dias (2005), as fundações de um sistema leve em madeira podem contemplar soluções mais simples e econômicas, já que ficam sujeitas a forças relativamente reduzidas. Porém, devem estar bem niveladas, no esquadro e com medidas precisas para evitar retrabalho durante a montagem da edificação. Ainda segundo o mesmo autor, as fundações podem ser dos tipos: sapatas corridas com vigas baldrame (a); sapatas de pescoço alongado e cintas de amarração (b); ou lajes do tipo radier (c), conforme ilustração da Figura 16, ou ainda as edificações podem estar simplesmente estruturadas por

estacas de concreto ou postes roliços de madeira tratada.

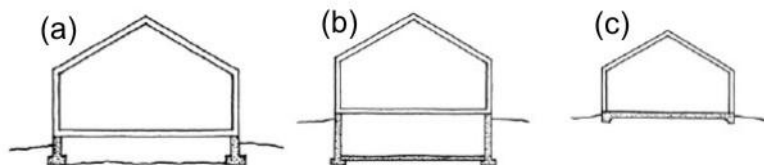


Figura 16 – Diferentes tipos de fundação para sistemas leves em madeira. Fonte: DIAS, 2005.

3.1.3. Parede

Os painéis de parede do Sistema Plataforma são compostos pela ossatura em madeira maciça, pelas chapas de fechamento ou *sheathing*, que geralmente são chapas de madeira reconstituída do tipo OSB (*Oriented Strand Board*) e pelos revestimentos interno e externo. Os elementos da ossatura são os montantes, as travessas inferiores e superiores, e as vergas nas aberturas de portas e janelas. As paredes são responsáveis por suportar as cargas verticais incidentes dos subsistemas de entepiso e cobertura transmitindo-as à fundação, e também de resistir às cargas horizontais que agem paralelamente ao solo como, por exemplo, um furacão ou terremoto. Nestes casos, o contraventamento através da utilização de chapas de madeira se mostra uma opção superior ao uso de diagonais na ossatura dos painéis (Figura 18), como pode ser observado na Figura 17. Estas chapas quando aplicadas nas paredes externas, requerimento que atualmente passou a ser recomendado pelos códigos norte-americanos, conferem aos painéis, além de um desempenho estrutural superior, maior proteção em relação às intempéries e facilidade na montagem. Devido a isto, hoje cerca de setenta por cento das construções em madeira norte-americanas apresentam este tipo de fechamento externo das paredes, segundo dados da APA (2008).



Figura 17 – Painéis externos revestidos com chapas de OSB permaneceram preservados após a passagem de um furacão. Fonte: APA, 2008.

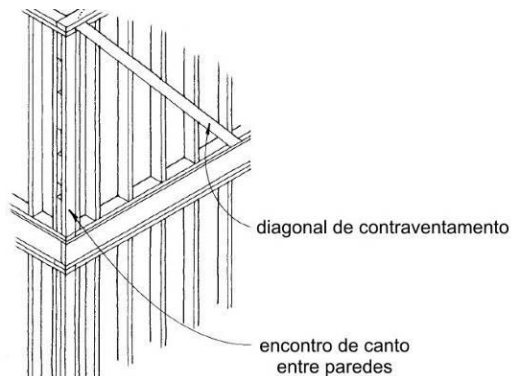


Figura 18 - Diagonal de contraventamento da ossatura da parede no encontro de canto.

Fonte: adaptação THALLON, 2000.

De acordo com o PATH (2000), as peças que compõem a ossatura das paredes normalmente utilizadas neste tipo de sistema construtivo têm seção 2"x 4" e 2"x 6", que convertidas para milímetros seriam 50,8 mm x 101,6 mm e 50,8 mm x 152,4 mm. Porém, as seções encontradas comercialmente no Brasil seriam 40 mm x 90 mm e 40 mm x 140 mm, considerando a madeira já aplainada. Os montantes, peças verticais espaçadas a intervalos regulares de aproximadamente 400 mm, têm o comprimento correspondente à altura de um pavimento, que no caso dos países norte-americanos é igual a 2440 mm. Isto corresponde à maior dimensão da chapa de fechamento, que normalmente mede 1220 mm x 2440 mm. Às travessas superiores e inferiores, dispostas horizontalmente, os montantes são fixados através de pregos cravados em topo ou em ângulo (Figura 19). No caso de pavimento térreo, as travessas inferiores são fixadas diretamente à fundação, e em pavimentos superiores a fixação é feita aos entrepisos ou telhados. Conforme já mencionado, as chapas de fechamento auxiliam no contraventamento (Figura 19), e todos os elementos da ossatura do painel de parede devem estar pregados à mesma, para que formem a parede diafragma.

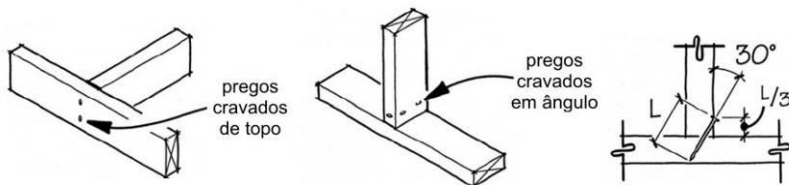


Figura 19 – Pregos cravados em topo ou em ângulo. Fonte: DIAS, 2005.

Thallon (2000) explica que as peças de ossatura de seção 2"x 6" somente são utilizadas quando se deseja ter uma parede que ofereça melhor conforto térmico, já que são paredes mais espessas onde há mais espaço interno no painel para acomodar as mantas de isolamento, ou no caso de paredes aonde passam as instalações. Neste caso, os montantes podem estar espaçados a cada 600 mm, mas mesmo assim o consumo de material com montantes e travessas é cerca de 20% maior quando utilizada a seção 2"x 4" na ossatura.

Quanto às chapas de fechamento, ao se empregar peças da ossatura com seção mais usual de 2" x 4" (ou 40 mm x 90 mm) nas peças da ossatura do painel, os códigos norte-americanos indicam a utilização de chapas de OSB de espessura igual a 3/8", ou 10 mm. Essas chapas devem ser pregadas em todos os elementos da ossatura, respeitando espaçamento médio entre os pregos, de 12" ou 300mm no meio da chapa e distância máxima entre pregos, de 6" ou 150mm no perímetro da borda da mesma. Normalmente as chapas são aplicadas no sentido vertical e, quando a sua maior dimensão é igual à altura da parede, é possível pregar todo o seu perímetro à ossatura em madeira. Quando as paredes têm altura maior do que a altura da chapa, como na imagem que aparece na Figura 20, ou quando as chapas são aplicadas no sentido horizontal, é necessário que se faça o uso de travessas extras na ossatura, conhecidas como bloqueadores ou enrijecedores - ou *blocking* - para que seja possível pregar a chapa em toda a sua borda.



Figura 20 – Elementos bloqueadores na ossatura da parede com altura maior do que a chapa de OSB. Fonte: STAMATO e SACCO, 2008.

As chapas de OSB fabricadas no Brasil, comercializadas no mercado varejista da construção civil, têm as mesmas dimensões das encontradas na maior parte do mundo, 1220 mm x 2440 mm. Quando a chapa é aplicada da forma mais indicada, na vertical, a maior dimensão da mesma acaba limitando a altura do painel de parede em 2440 mm, que para a cultura e o clima brasileiros pode parecer um pé-direito muito baixo. Além disso, podem existir

outras condicionantes que definam esta altura como, por exemplo, o Código de Obras Municipal. Ou então órgãos financiadores, como a Caixa Econômica Federal, que limita como altura mínima um pé-direito de 2,5m ou 2500 mm para casas de pavimento simples, segundo dados do programa *Minha Casa, Minha Vida* lançado pelo governo federal no ano de 2009. Por outro lado, a empresa fabricante do OSB pode perfeitamente fazer modificações nas dimensões totais da chapa durante o seu processo de fabricação, de acordo com a demanda de mercado, e dentro das limitações de seu maquinário.

Os painéis de parede podem ser do tipo aberto, fechado ou ainda os *SIP* – *Structurally Insulated Panels*, ou “painéis estruturais com isolamento térmico”. Os painéis abertos são formados apenas pela ossatura em madeira, com montantes geralmente espaçados a cada 400 mm, quer dizer 1220/3 mm, ou a cada 600 mm, ou 1220/2 mm. Os painéis fechados são semelhantes aos painéis abertos, exceto pelo fato de receberem ainda em fábrica as chapas de fechamento, geralmente em apenas uma das faces (O'BRIEN et al, 2000).

No piso térreo, os painéis devem estar fixados à estrutura de fundação por meio de ganchos metálicos conhecidos como ganchos de ancoragem, preferencialmente posicionados antes da cura para que sejam concretados na mesma (Figura 21). A outra opção seria fixar os painéis à estrutura por meio de parafusos chumbadores.

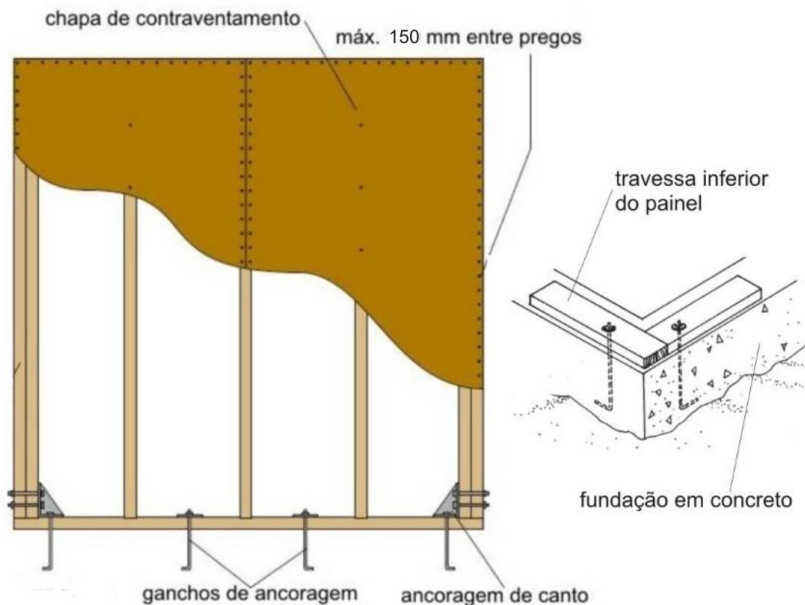


Figura 21 – Ancoragem dos painéis à fundação. Fontes: APA, 1999 e AF&PA, 2001.

Com os parafusos devidamente ancorados à fundação, Guertin e Arnold (apud DIAS, 2005, p.20) descreve duas maneiras de se fazer a fixação dos painéis de parede. A primeira, fazendo a fixação da travessa inferior da ossatura do painel diretamente no parafuso ou gancho de ancoragem concretado na fundação, como ilustrado na Figura 21. A segunda, como pode ser visto na Figura 22, necessita da utilização de mais uma peça de madeira, podendo ter a mesma seção transversal de travessas e montantes, chamada de guia de ancoragem. A guia é fixada ao parafuso ao longo de toda a fundação e, sobre a mesma, a travessa inferior do painel pode ser pregada ou fixada através do mesmo parafuso ancorado. Esta segunda opção é mais fácil de ser executada, além de garantir um melhor nivelamento e alinhamento dos painéis de parede.



Figura 22 – Fixação da guia de ancoragem na fundação e posicionamento do painel sobre a guia ancorada. Fonte: SZÜCS et al, 2004.

Segundo Dias (2005), deve-se atentar para o emprego de dupla travessa superior, ou seja, os painéis de parede devem ser unidos em sua parte superior por outra travessa, que deve ser contínua para que transpasse os encontros entre painéis e principalmente os encontros de canto entre paredes (Figura 23).

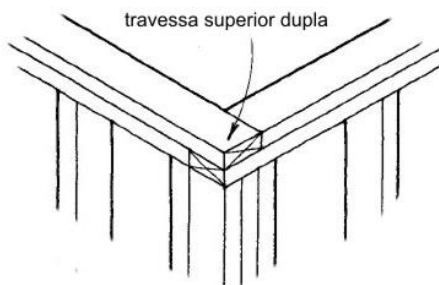


Figura 23 – Travessa superior dupla na ossatura do painel. Fonte: adaptação THALLON, 2000.

Os cantos de paredes devem apresentar múltiplos ou ao menos duplos montantes, conforme detalhes da Figura 24, pois além de ser uma área onde são maiores as tensões, este arranjo facilitará a fixação das chapas de fechamento e dos revestimentos interno e externo das paredes (AF&PA, 2001).



Figura 24 – Detalhe em planta baixa e perspectiva do encontro de canto entre paredes.
Fonte: SZÚCS et al, 2007.

Nas aberturas de portas e janelas dos painéis também se deve alterar a disposição regular dos montantes, incluindo elementos especiais como vergas, umbrais e contravergas (DIAS, 2005). Estes elementos estão representados na Figura 25. As vergas devem estar apoiadas sobre umbrais, peças com a mesma seção transversal dos montantes, e que devem ser fixados aos mesmos, posicionados em cada extremidade da verga. Deste modo, os umbrais servem de apoio para a verga, que funciona como uma viga biapoiada, recebendo as cargas transversais advindas dos pavimentos superiores e da cobertura. A contraverga é formada por uma peça horizontal única, também de seção igual à dos montantes, apoiada sobre montantes curtos dispostos na modulação usual dos painéis e que têm a altura do peitoril da janela.

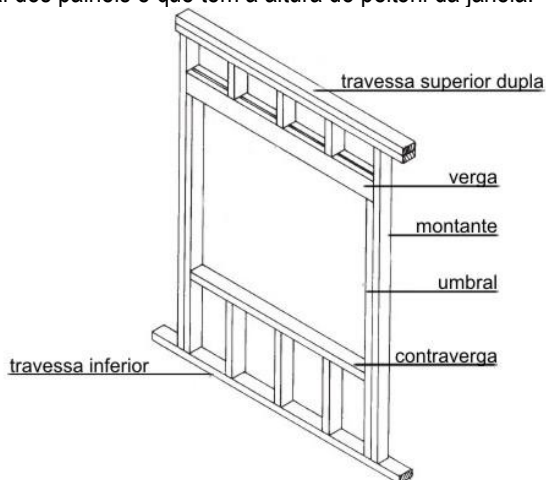


Figura 25 - Ossatura do painel com abertura de janela. Fonte: adaptação AF&PA, 2001.

3.1.4. Piso

Dias (2005) descreve o subsistema piso como uma trama estrutural formada por vigotas dispostas paralelamente, apoiadas e fixadas à fundação - no caso de pavimento ou piso térreo - ou às paredes portantes do pavimento inferior - no caso de um entrepiso, conforme a Figura 26. Ao longo de muito tempo foram utilizadas vigotas maciças, de seção retangular, mas hoje as vigas de perfil I, formadas por mesas de madeira maciça e alma de OSB, ganham cada vez mais espaço no mercado de componentes industrializados para a construção de edificações em madeira por serem leves, resistentes, e apresentarem melhor relação resistência/peso próprio (Figura 27).

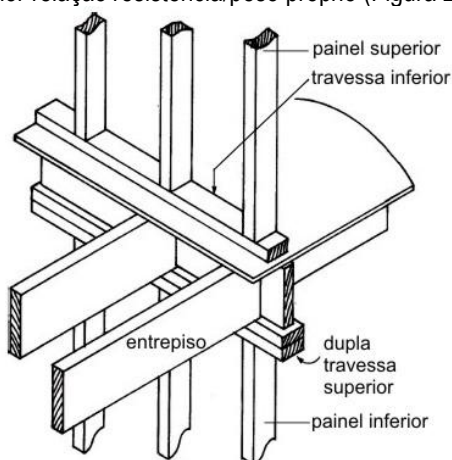


Figura 26 – Estrutura de entrepiso, apoiada sobre os painéis do pavimento inferior. Fonte: adaptação AF&PA, 2001.



Figura 27 – Estrutura de piso de vigas de perfil I em OSB. Fonte: WIJMA, 2009.

Os espaçamentos entre as vigotas de ossatura dos pisos mais utilizados são 200 mm, 400 mm e 600 mm, dependendo das cargas e tamanhos dos vãos livres. A superfície plana ou chapa de fechamento horizontal, normalmente composta de chapas de OSB ou compensado laminado, é pregada ao longo das vigotas, formando a plataforma de piso. Os pregos devem estar espaçados a uma distância de 150 mm ao redor ou no perímetro das chapas e a aproximadamente 300 mm entre eles no meio da chapa. A chapa deve ser pregada de modo que sua maior dimensão esteja perpendicular às vigotas, auxiliando no travamento do conjunto da plataforma de piso. Desse modo, deve-se atentar para que duas chapas paralelas tenham suas juntas de dilatação desencontradas no lado de menor dimensão da chapa, conforme a Figura 28 e a Figura 30 (THALLON, 2000).

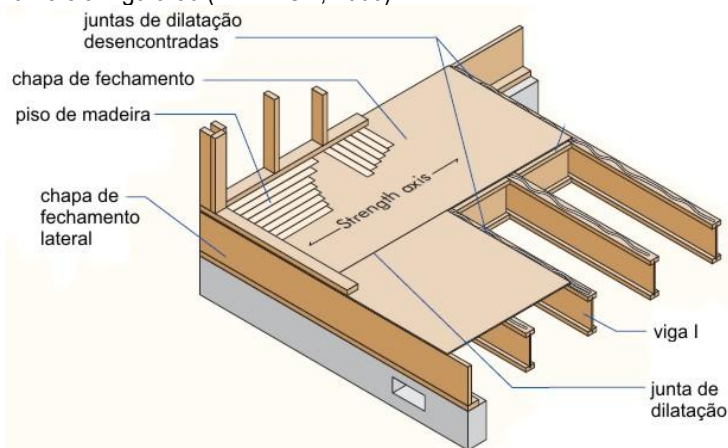


Figura 28 – Composição do subsistema piso. Fonte: adaptação APA, 2007.

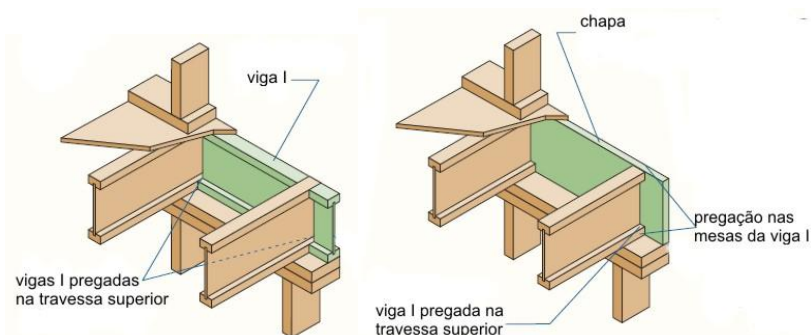


Figura 29 – Travamento lateral e das extremidades das vigas de perfil I no entrepiso. Fonte: adaptação APA, 2009.

As vigotas que compõem o barroteamento do piso ou diafragma de madeira devem ser fixadas à travessa superior dos painéis portantes do pavimento inferior ou diretamente à fundação, no caso de pavimento térreo. Nas extremidades dessas vigas são utilizadas chapas de fechamento lateral (Figura 29), fazendo o travamento da estrutura do piso, função que é complementada pela pregação das chapas horizontais de fechamento da superfície plana do piso e pelos elementos bloqueadores entre as vigotas.

Além das vigotas, Santos (2005) sugere a utilização de elementos bloqueadores (ou *blocking*) na forma de barrotes de madeira maciça, ilustrados na Figura 30, que permitem a pregação da superfície plana ou chapa de OSB em todo o perímetro de sua borda, fazendo uma melhor vinculação à ossatura. As plataformas ou diafragmas de piso que utilizam estes dispositivos (*Blocked Diaphragm*) apresentam maior rigidez se comparados aos que não possuem elementos bloqueadores (*Unblocked Diaphragm*).

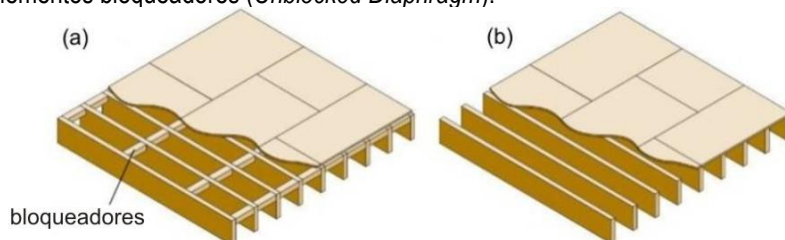


Figura 30 – Diafragmas de piso com (a) e sem (b) elementos bloqueadores ou “blocking”.
Fonte: APA, 2009.

3.1.5. Telhado

A grande maioria das edificações construídas no Sistema Plataforma emprega treliças pré-fabricadas na composição dos telhados, o que possibilita vencer vãos livres maiores. O sistema estrutural do telhado neste sistema construtivo também pode ser composto por caibros, principalmente quando o projeto da cobertura é complexo, possuindo muitas águas e diferentes inclinações. Os caibros são, normalmente, espaçados a cada 400 mm ou 600 mm, dependendo de sua seção transversal e do vão a ser vencido. As treliças são, em sua maioria, componentes pré-fabricados com peças de madeira de 40 mm de espessura e seção variável, sendo a mais utilizada a seção 40 mm x 90 mm, que mais se aproxima à seção 2”x 4” norte-americana. Estas peças são pregadas através de conectores metálicos estampados, também conhecidos como chapas-prego, como ilustra a Figura 31. A seção das peças irá depender do vão a ser vencido, já que usualmente as treliças são projetadas para que

não seja necessário apoio intermediário da estrutura. O espaçamento entre treliças costuma variar entre 600 mm e 1200 mm. Além das treliças, o subsistema telhado é normalmente composto de caibros e chapas de fechamento da cobertura, formando os diafragmas de telhado (PATH, 2000).



Figura 31 – Treliças pré-fabricadas com chapas-prego. Fonte: SZUCS et al, 2004.

As treliças pré-fabricadas podem ser manuseadas e também erguidas pela própria equipe durante a montagem, pois são estruturas muito leves. Porém, peças grandes, capazes de vencer vãos maiores, necessitam do auxílio de máquinas para serem instaladas na cobertura, como caminhões com guindastes telescópicos acoplados (Figura 32).



Figura 32 - Treliças de grande porte necessitam de equipamentos durante a montagem da cobertura. Fonte: CWC, 2000(a).

As treliças pré-fabricadas permitem um maior espaçamento entre os elementos da estrutura de um telhado se comparadas ao sistema tradicional e, ainda de acordo com Thallon (2000), proporcionam agilidade e redução dos custos. O autor descreve que ao dimensionar o espaçamento entre as treliças deve se levar em consideração as dimensões das chapas de OSB utilizadas como contraventamento na composição do telhado, ou seja, os espaçamentos entre as peças que compõe a ossatura devem ser de frações das dimensões das chapas para que as mesmas possam ser pregadas em toda a sua periferia.

As chapas devem ser pregadas de forma que sua maior dimensão esteja perpendicular às treliças ou caibros. Assim como para os diafragmas de piso e de parede, na fixação das chapas de fechamento no subsistema telhado os pregos devem estar a uma distância de 150 mm entre eles no perímetro da chapa e 300 mm no centro da mesma, conforme recomendação do IRC (2009).

A fixação das treliças às paredes portantes é feita através da utilização de pregos cravados em ângulo, que unem o banzo inferior da treliça à travessa superior do painel. De acordo com Thallon (2000), para evitar o arrancamento das treliças devido à ação do vento, são utilizados conectores metálicos que reforçam essa união (Figura 33). Os conectores, que já vêm com pré-furação, são pregados em ambos os lados de cada treliça, como pode ser observado na Figura 34, em suas duas extremidades.



Figura 33 – Fixação da treliça na travessa superior do painel de parede. Fonte: SZÜCS et al, 2004.

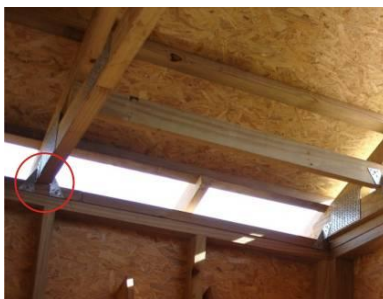


Figura 34 – Utilização de conectores metálicos para fixação de treliças de cobertura. Fonte: STAMATO, 2009.

3.1.6. Acabamento

O acabamento das paredes voltadas para a parte interna da edificação construída com painéis de madeira estruturados do Sistema Plataforma, normalmente consiste num revestimento em placas de gesso acartonado, que após receberem massa e pintura, deixam a superfície com a aparência de uma parede convencional feita em alvenaria. Estas chapas são parafusadas à ossatura em madeira dos painéis, e depois recebem uma massa em sua junta de dilatação e posterior aplicação de massa corrida e pintura. A utilização das placas de gesso na parte interna da edificação também proporciona melhor resistência ao fogo, no caso de um incêndio, já que o gesso funciona como uma barreira anti-chama. No revestimento externo é comum utilizar régua horizontais sobrepostas e encaixadas, conhecidas como *siding*, podendo ser fabricadas em madeira ou vinil. As régua de *siding* possuem uma geometria especial (Figura 35), específica para evitar a entrada da água através das paredes externas da edificação, protegendo-a contra a umidade.

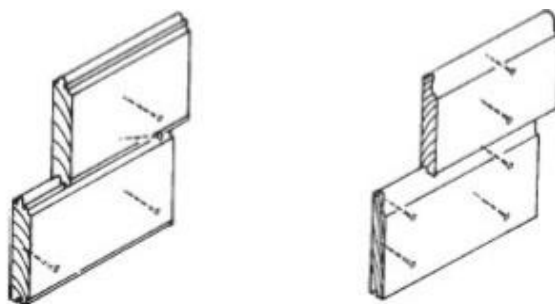


Figura 35 – Encaixe das réguas de *siding* evita a entrada de umidade. Fonte: AF&PA, 2001.

Os mecanismos de transporte e as fontes de umidade que afetam uma construção são numerosos e complexos. Estudos recentes concluíram que o mecanismo primordial de falha em relação à umidade é a penetração de água de chuva através das paredes externas. Isto se mostra bastante evidente em regiões de clima úmido. Deste modo, o desenvolvimento de estratégias de controle da penetração de água da chuva deve receber especial atenção, entre as quais o desempenho do revestimento externo, das chapas de fechamento dos painéis, da ossatura em madeira, da vedação em torno de portas e janelas e das membranas de impermeabilização utilizadas (CWC, 2000).

O tipo de configuração para painéis de paredes externas utilizado com eficiência nos países da América do Norte, em regiões de clima úmido, é conhecido por parede *rainscreen*, ou “tela para chuva”, cujo detalhamento aparece na Figura 36. Através da colocação de ripas, no sentido vertical, entre a chapa de fechamento da parede e o revestimento externo, cria-se uma camada de ar, que deve ser aberta na parte inferior (base da parede) e também na parte superior (junto ao beiral do telhado), permitindo assim a circulação de ar. De acordo com o CWC (2000), esta camada de ar deve ter espessura mínima de 3/8”, ou aproximadamente 10 mm.

Este espaço criado entre o *siding* e o painel de parede propriamente dito, permite uma livre circulação do ar, equalizando as pressões², além de facilitar a secagem da parte de trás do *siding* e garantir a sua durabilidade, caso a umidade consiga ultrapassar esta primeira barreira de proteção.

Na face externa da parede, sobre a chapa de fechamento, normalmente é aplicada uma nova barreira, uma membrana de impermeabilização chamada *housewrap*, criando um plano de drenagem para que a água das chuvas que porventura passe pelo revestimento externo possa escoar.

2 De acordo com o CANADIAN WOOD COUNCIL (2000), a diferença de pressão do ar interno e externo em uma edificação é uma das principais forças que causam a penetração da umidade.

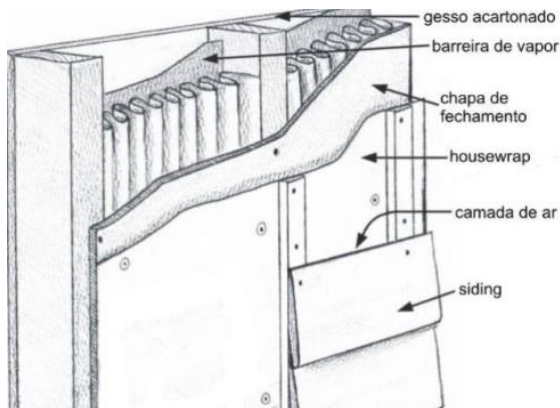


Figura 36 – Detalhamento da parede rainscreen. Fonte: adaptação NAHB, 2002.

Existem cuidados especiais nos vãos ou aberturas de portas e janelas que devem ser tomados quando esta membrana de impermeabilização for instalada, ilustrados na Figura 37 e na Figura 38. Primeiro, deve ser feito um recorte na membrana no vão das aberturas, a fim de dobrá-la para a parte interna da edificação, antes da esquadria ser instalada. A medida conhecida como *flashing*, que consiste na aplicação de uma fita adesiva sobre a membrana no entorno das aberturas, torna a instalação da esquadria um pouco mais demorada, mas garante excelente vedação. A aplicação da manta de impermeabilização e da fita de vedação deve ser concomitante (NAHB, 2002).



Figura 37 – Execução do **flashing** junto à manta de impermeabilização. Fonte: CCW, 2006.

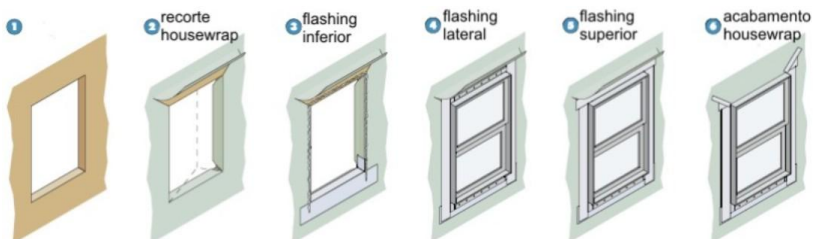


Figura 38 – Etapas de execução do **flashing** nas aberturas. Fonte: adaptação APA, 2003.

Observando-se a Figura 38, fica mais clara a compreensão das etapas da aplicação da manta e da fita. Primeiramente, deve ser aplicado o *flashing* inferior, antes da colocação da esquadria. Com esta já instalada, são aplicadas as fitas adesivas nas laterais e na parte superior. Por último, a aba superior da manta é dobrada em direção à esquadria, recebendo mais uma aplicação de fita adesiva ou *flashing tape* para fazer o acabamento final (APA, 2003).

No item seguinte serão apresentados como referências, alguns resultados de estudos e pesquisas experimentais que ocorreram em nosso país acerca do tema Sistema Plataforma, com o intuito de ilustrar o panorama nacional da pesquisa relativa aos sistemas leves em madeira, apresentando detalhes e critérios construtivos dos subsistemas descritos anteriormente.

3.2. REFERÊNCIA nº 1: SISTEMA STELLA-UFSC

A primeira referência de construção no Sistema Plataforma apresentada nesta dissertação é resultado da participação de um grupo de professores e estudantes da UFSC, ligados aos departamentos de Arquitetura e de Engenharia Civil, no desenvolvimento do projeto intitulado “Sistema Stella-UFSC: Avaliação e desenvolvimento de sistema construtivo em madeira de reflorestamento voltado para programas de habitação social”, inserido no programa Habitare da Finep.

Neste projeto de pesquisa, foi adotado como referência o sistema construtivo produzido pela empresa Battistella, voltado para um nicho de mercado de população de renda média-alta. À época do desenvolvimento da pesquisa, a empresa comercializava casas de madeira sob o nome fantasia “Casa Stella®”, construídas no Sistema Plataforma, nas quais todos os componentes em madeira empregados eram produzidos na própria empresa.

O objetivo principal da pesquisa foi realizar uma revisão do sistema com o intuito de reduzir os custos e torná-lo acessível para a aplicação em programas públicos de provimento habitacional, sem perda de qualidade e também sem perder as características do sistema. Mesmo que parcialmente industrializado, a empresa apresentava um processo ainda bastante artesanal, e um dos objetivos do projeto era também melhorar o nível de industrialização, proporcionando rapidez na execução e consequente redução da mão-de-obra e economia.

Os componentes em madeira maciça fabricados pela empresa Battistella são de *pinus* tratado com CCA em autoclave por vácuo-pressão. Para componentes de fins estruturais, como os montantes e travessas da ossatura dos painéis de parede, é realizada a retirada dos nós da madeira e as partes sãs são unidas novamente através de emendas de entalhes múltiplos do tipo *finger-joint*. Além de peças em madeira maciça, foram utilizados

componentes em Madeira Laminada Colada (MLC), vigas de perfil I e chapas de laminado compensado para o fechamento. Todos produzidos pela empresa.

Como o objetivo do projeto era reduzir custos e torná-lo adequado à população de renda entre 3 a 10 salários mínimos, nessa pesquisa os estudantes de graduação participaram junto à empresa parceira da elaboração do projeto arquitetônico de residência unifamiliar de dois pavimentos voltado para a habitação popular e, posteriormente, tiveram a oportunidade de acompanhar todas as etapas de execução (Figura 39) do protótipo tecnológico erguido no campus da UFSC no ano de 2003, desde a fundação até os acabamentos finais.



Figura 39 – Etapas da execução do protótipo tecnológico no campus da UFSC.

Fonte: SZÜCS et al, 2004.

O protótipo tecnológico é uma edificação com área total de 47m², distribuídos em dois pavimentos. A fundação, e também estrutura do piso térreo, constitui-se numa laje armada do tipo radier, na qual foram posicionados e concretados os ganchos de ancoragem. Toda a coordenação dimensional entre os componentes é baseada na modulação de 1220 mm x 2440 mm, dimensões das chapas de laminado compensado utilizadas na composição dos entramados de piso, paredes e telhado.

Krambeck (2006) realizou a revisão dos detalhes construtivos utilizados no sistema Stella-UFSC, fazendo uma decomposição dos subsistemas piso e parede, identificando algumas desvantagens nas soluções aplicadas. Como conclusão de sua dissertação, redesenhou os dois subsistemas, visando corrigir detalhes com vistas à sua melhor adequação a uma construção simples e segura, dentro dos princípios da construção no Sistema Plataforma.

A seguir será feita uma breve descrição dos subsistemas que compõem a edificação erguida no campus da UFSC sob o sistema pré-fabricado comercializado pela empresa parceira da pesquisa.

- a. Paredes – Painéis compostos por módulos individuais de dimensões 1220 mm x 2440 mm, do tipo cego, porta ou janela. Ossatura em peças maciças de seção 30 mm x 120 mm, e espaçamento entre montantes igual a 400 mm (Figura 44). Os painéis foram justapostos lado a lado e a travessa superior dupla tem a função de auxiliar na união dos mesmos. As chapas de fechamento foram utilizadas apenas do lado interno da parede, pregadas à ossatura em madeira dos painéis.

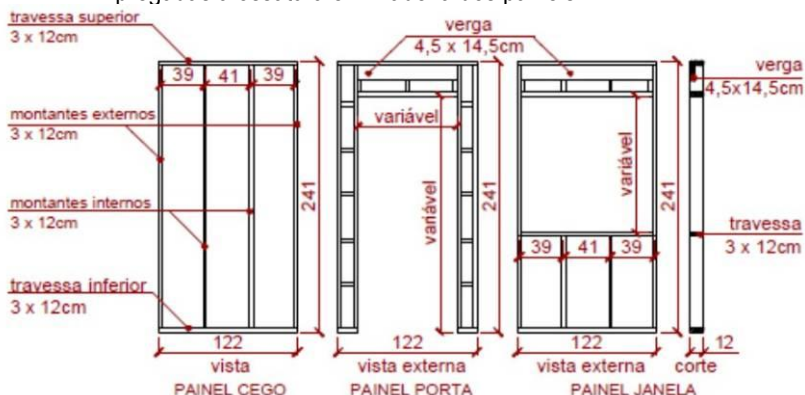


Figura 40 – Ossatura dos painéis de parede Stella-UFSC. Fonte: SZÚCS et al, 2004.

Nos painéis com aberturas de portas e janelas há ausência de umbrais, e nos encontros de canto entre paredes o arranjo dos montantes não garante reforço estrutural e não facilita a pregação das chapas de fechamento internas. Segundo Krambeck (2006), as propostas de melhoria para o subsistema Parede seriam obter maior rigor na modulação dos elementos da ossatura e aumentar o nível de pré-fabricação dos painéis, já que as chapas de fechamento foram pregadas somente no local da obra, após a fixação da ossatura (ver Figura 41).



Figura 41 – Montagem das paredes do protótipo Stella-UFSC no canteiro de obras.

- b. Entrepiso – Estrutura mista composta de vigas de perfil I de dimensões 80 mm x 220 mm, vigas MLC de 100 mm x 260 mm e barrotes maciços de 45 mm x 70 mm, com espaçamento irregular. (Figura 42). Duas camadas de chapa de laminado compensado de espessura igual a 15 mm, dispostas em direções opostas, fazem o contraventamento do entrepiso.



Figura 42 – Composição da ossatura do entrepiso Stella-UFSC. Fonte: SZÜCS et al, 2004.

A falta de modulação e a diversidade de elementos utilizados na composição da estrutura do entrepiso aumentaram o número de tarefas durante a montagem (KRAMBECK, 2006). A autora propõe como revisão deste subsistema a adoção de um módulo básico e a redução da variabilidade dimensional dos componentes. Segundo a mesma, poderiam ser utilizadas na composição estrutural apenas vigas de perfil I, dispostas a aproximadamente 810 mm, isto é, $1/3$ do comprimento das chapas. Na função de elementos enrijecedores da plataforma deveria se utilizar barrotes dispostos a cada 610 mm, fixados nas mesas das vigas de perfil I. Porém, de acordo com os códigos norte-americanos, o espaçamento máximo permitido entre vigotas de piso não deve ultrapassar aproximadamente 600 mm, ou seja, $1220/2$, fazendo-se necessária uma verificação do espaçamento proposto por Krambeck (2006).

- c. Cobertura – Treliças pré-fabricadas com chapas-prego e espaçamento aproximado de 600 mm. Fixação das treliças aos painéis de parede do pavimento superior foi realizada através de conectores metálicos. Chapas de laminado compensado com espessura de 12 mm pregadas às treliças (Figura 43), manta de subcobertura, contra-caibros, ripas e telhas de madeira.

As chapas não foram dispostas perpendicularmente às treliças, auxiliando no travamento da estrutura, conforme recomendação do IRC (2009).



Figura 43 – Fixação das chapas de fechamento na cobertura do protótipo Stella-UFSC.

- d. Acabamentos – Internamente, as paredes são revestidas com chapas de gesso acartonado, aparafusadas sobre a chapa de compensado. Revestimento externo composto por manta aluminizada e tábuas de madeira pregadas do tipo *siding*. O modo de instalação da manta nas aberturas dos painéis não garante estanqueidade às chuvas (Figura 44).

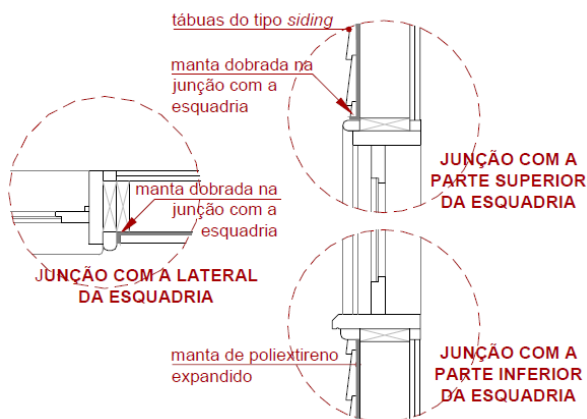


Figura 44 - Detalhes da instalação da manta junto às esquadrias. Fonte: KRAMBECK, 2006.

Krambeck (2006) sugere como complementação de seu trabalho, uma completa revisão de cada subsistema da edificação erguida sob o sistema Stella-UFSC, gerando uma avaliação dos custos envolvidos. No sentido de se aprofundar ainda mais sobre o tema da pesquisa, seria interessante realizar o estudo do processo de produção de componentes e elementos, na indústria, para sistemas que têm como premissas a simplicidade construtiva e a redução de custos. Esta análise precisa ser realizada, dentro da realidade da capacidade do parque industrial madeireiro, em cada região do país, visando a produção em série de casas de madeira.

O acompanhamento da execução do protótipo tecnológico do sistema Stella-UFSC no canteiro possibilitou a avaliação da etapa de montagem em obra, que tem relação direta com o processo de fabricação na indústria. O sistema em questão, com nível de industrialização referente à classificação do sistema leve em madeira do tipo panelizado, pressupõe a pré-fabricação de painéis e outros componentes na indústria. No caso do protótipo, muitos componentes foram fabricados no próprio canteiro, prolongando o tempo de execução, ocasionando retrabalho, e aumentando o custo da mão-de-obra. Logo, o nível de industrialização foi considerado parcialmente pré-fabricado, já que muitas etapas que foram executadas no canteiro de obras poderiam ter sido realizadas na indústria.

3.3. REFERÊNCIA nº 2: ESTUDO EXPERIMENTAL DE PAREDES ESTRUTURAIS E DIAFRAGMAS DE PISO

O Sistema Plataforma em madeira mostra-se como uma alternativa para a construção civil condizente com as condicionantes brasileiras, já que emprega materiais simples e facilmente encontrados no mercado nacional. Porém, a escassez de referências bibliográficas no âmbito nacional e a não existência de critérios normativos específicos dificultam a assimilação e divulgação deste sistema construtivo (DIAS, 2005).

Nos Estados Unidos é vasta a bibliografia acerca do tema e o dimensionamento de componentes está amparado por ensaios laboratoriais e padronização na forma de tabelas, que levam em conta as características do material empregado. Já no Brasil, segundo Castro (2005) e Dias (2005), existe uma necessidade de suprir o meio técnico com estudos e pesquisas experimentais que forneçam subsídios para a concepção dos projetos e traduzam o funcionamento global do sistema, para que se possa prever o desempenho dos diversos elementos e componentes que formam a trama estrutural. Toda e qualquer tecnologia estrangeira a ser explorada deve considerar as características particulares do contexto nacional e local, como a matéria-prima madeira, o clima, entre outros.

Dando continuidade aos estudos referentes aos sistemas leves em madeira, estudantes de mestrado e doutorado do Giem/UFSC - Grupo Interdisciplinar de Estudos da Madeira realizaram uma série de ensaios experimentais em laboratório, utilizando protótipos de Paredes estruturais e Diafragmas de piso em tamanho real, com o intuito de avaliar seu comportamento sob a ação das cargas e forças atuantes, em função da variação de determinados parâmetros relevantes, cujos resultados serão apresentados no item seguinte.

3.3.1. Paredes estruturais

Dias (2005) buscou avaliar o desempenho de painéis estruturais de parede para o Sistema Plataforma confeccionados com matérias-primas nacionais, como a madeira de *pinus* proveniente da região sul e as chapas de OSB fabricadas no Brasil. Os painéis estruturais em tamanho real foram submetidos à ação de força horizontal em seu plano, representando a ação do vento. Os principais parâmetros que influenciam no comportamento estrutural das paredes são:

- a. comprimento das paredes;
- b. fixação e Ancoragem dos painéis à fundação;
- c. presença de aberturas de portas e janelas;
- d. orientação das chapas de fechamento;
- e. densidade de pregos;
- f. resistência e Rigidez da ligação pregada;
- g. espaçamento entre montantes;
- h. tipo e espessura da chapa de fechamento.

Para os ensaios experimentais, Dias (2005) buscou avaliações comparativas através da variação dos seguintes parâmetros: o tipo de prego, o comprimento das paredes, o número de aberturas e as condições de ancoragem e fixação à base. Foram então confeccionados protótipos com variações na quantidade de aberturas de portas e janelas e no comprimento das paredes. Por outro lado, os parâmetros fixos foram os seguintes: peças da ossatura em madeira de *pinus*, seção transversal de 38 mm x 89 mm e espaçamento entre montantes de 406 mm; chapas de fechamento em OSB de espessura 12 mm; espaçamento entre pregos de 150 mm na pregação periférica e 300 mm na pregação interna. Foi utilizada travessa inferior dupla, ou seja, uma guia de ancoragem presa à base por meio de parafusos, e sobre as mesmas foi fixada a ossatura do painel de parede. Toda a pregação da ossatura foi feita com o auxílio de uma pregadeira pneumática.

Em relação às ligações pregadas, com base nos dados experimentais de Dias (2005), se evidenciou que o desempenho das paredes estruturais depende fundamentalmente de seu comportamento e que os pregos anelados se mostraram superiores aos pregos lisos no que diz respeito à rigidez da parede. Para se verificar a importância da ancoragem das paredes à fundação, foram fixados dispositivos nos montantes extremos dos painéis de parede (Figura 45), ou seja, cantoneiras metálicas que possuem duas linhas de furos laterais para a fixação ao montante através de pregos e um furo inferior para a passagem do parafuso de fixação à base. Este dispositivo de ancoragem impede que o montante extremo se desprendam da travessa inferior fixada à

base quando a parede estiver submetida à carga lateral do tipo vento. A variação dos comprimentos das paredes mostrou que a capacidade resistente das mesmas é proporcional ao seu comprimento, ou seja, quanto mais comprida a parede, maior a força máxima atingida no ensaio. Já em relação à existência e quantidade de aberturas no painel de parede, nota-se que o comportamento cai em função da presença das mesmas e, no caso de um painel com abertura de porta, que seria uma situação mais crítica, se faz necessária a utilização do dispositivo de ancoragem no montante adjacente, para que não ocorra o desprendimento do mesmo.



Figura 45 – Cantoneira metálica realiza a fixação do painel à fundação. Fonte: DIAS, 2005.

3.3.2. Diafragmas de piso

A fabricação de vigas de perfil I ou Vigas "I" com mesa em madeira maciça e alma em OSB é bastante difundida na América do Norte, onde são conhecidas como *I-joists*. No Brasil, abrem mais um nicho no mercado das construções leves em madeira mostrando-se viáveis para a realidade do país, uma vez que já existe em território nacional uma unidade produtora de chapas de OSB. As vigas de perfil I são utilizadas como ossatura das plataformas ou diafragmas de piso dos sistemas leves em madeira.

Lima (2005) avaliou o comportamento destes elementos ou componentes da trama estrutural dos sistemas leves em madeira através de ensaios de flexão a quatro pontos, considerando vigas com alma em OSB e mesa em *pinus* maciço. Os resultados por ele obtidos mostram que o comportamento estrutural é superior quando é utilizado adesivo na união entre a alma e a mesa das vigas. Verificou-se que as vigas somente pregadas resisitiram até 90 vezes o seu peso próprio, enquanto que as vigas coladas e pregadas atingiram cargas superiores a 230 vezes o seu peso.

Os resultados da pesquisa realizada por Lima (2005) serviram de subsídio para o estudo dos diafragmas de piso realizado por Santos (2005), que fabricou

vigas de perfil I com mesa em *pinus* maciço de aproximadamente 80 mm de largura, composta de barrotes maciços de seção transversal 30 mm x 60 mm, e alma em OSB de 18 mm de espessura e altura igual a 200 mm (Figura 46). A colagem entre a mesa e a alma foi feita com o adesivo do tipo MUF (Melamina Uréia Formol) e a pressão de colagem foi realizada através de pregos anelados aplicados a cada 150 mm ao longo do comprimento da viga, utilizando-se uma pregadeira pneumática.

Santos (2005) utilizou as vigas de perfil I na confecção de protótipos de Piso em sistema leve em madeira e avaliou o seu comportamento sob a ação de carregamento monotônico em seu plano, investigando a influência do emprego de elementos enrijecedores na ossatura dos diafragmas de piso e a influência de diferentes densidades e tipos de pregos utilizados na fixação das chapas de fechamento. Os protótipos fabricados em tamanho real e ensaiados no LEE da Engenharia Civil da UFSC tiveram a seguinte configuração: dimensão total da plataforma de piso igual a 5000 mm x 2500 mm, com duas travessas – inferior e superior - de *pinus* maciço de seção transversal 80 mm x 90 mm e comprimento igual a 5000 mm. Ossatura em vigas “I” de comprimento 2500 mm, fixadas nas travessas através de cantoneiras metálicas, dispostas a cada 615 mm (Figura 46).



Figura 46 – Fixação da Viga “I” à travessa com cantoneira metálica na composição da plataforma de piso. Fonte: SANTOS, 2005.

Os ensaios contemplaram pisos com a presença de enrijecedores (ou bloqueadores) em *pinus* maciço entre as vigas “I” (Figura 47), na forma de barrotes maciços de seção transversal 50 mm x 70 mm, e também sem os mesmos. Além disso, as chapas de fechamento em OSB de espessura 18 mm foram pregadas, ou não, aos bloqueadores, avaliando também três variações de espaçamento entre os pregos que fazem a fixação das chapas nas vigas da ossatura, que foram aproximadamente 100 mm, 200 mm e 400 mm.



Figura 47 – Fixação dos bloqueadores entre as vigas do piso. Fonte: SANTOS, 2005.

Os resultados obtidos por Santos (2005) mostram a necessidade de se fazer uma pré-classificação da madeira de *pinus* a ser utilizada para fins estruturais, como é o caso da composição de vigas de perfil I para plataformas de piso. Esta recomendação diz respeito à grande variabilidade de suas propriedades mecânicas. Nos ensaios experimentais de ligações pregadas entre chapas de OSB e peças de *pinus* maciço, a resistência média apresentada foi de 1750 N para pregos anelados e 1250 N para pregos lisos. Os diafragmas de piso com elementos enrijecedores apresentaram deflexão 2,5 vezes menor do que os diafragmas que não utilizaram tais dispositivos, pois o emprego dos mesmos proporciona o aumento do número de pregos e permite a fixação das chapas de fechamento em todo o seu perímetro. Constatou também que a distância do prego à borda da chapa, em 13 mm, se mostrou satisfatória. Portanto, Santos (2005) concluiu que a rigidez do diafragma é significativamente influenciada pela rigidez das ligações e pela densidade de pregos utilizada. Enfatiza ainda a necessidade do emprego dos elementos enrijecedores nos diafragmas de piso para sistemas leves em madeira.

De uma forma geral, os resultados dos estudos experimentais de paredes estruturais e diafragmas de piso apresentados neste item ressaltam a importância das ligações pregadas no Sistema Plataforma. As chapas de fechamento, que unidas à ossatura em madeira compõem subsistemas como pisos, paredes e telhados, conferem resistência e rigidez ao conjunto. Por isso, o seu modo de pregação, incluindo o tipo de pregos utilizados e a densidade ou espaçamento entre os mesmos, influencia diretamente no comportamento estrutural deste tipo de sistema construtivo. A presença de bloqueadores na estrutura proporcionará a pregação correta das chapas de fechamento.

3.4. REFERÊNCIA nº 3: OTIMIZAÇÃO DO SISTEMA STELLA-UFSC

Após a experiência inicial com o Sistema Stella-UFSC, quando foi possível acompanhar todas as etapas compreendidas na construção de uma edificação no Sistema Plataforma, indo desde a fase de projeto até os acabamentos finais da execução, o grupo de pesquisadores do Giem/UFSC seguiu dando continuidade às pesquisas relacionadas aos sistemas leves em madeira. Após a revisão e avaliação de todas as etapas construtivas do protótipo tecnológico erguido no campus da UFSC, o segundo edital *Habitare* da Finep possibilitou uma pesquisa aprofundada das soluções técnicas consagradas em países que detêm há décadas a prática deste tipo de construção, no projeto intitulado "Otimização da Industrialização do Sistema Construtivo Battistella-UFSC". Foram propostas novas soluções técnicas construtivas capazes de conferir o desempenho e a durabilidade desejados em uma edificação, sendo que algumas puderam ser avaliadas experimentalmente no Laboratório de Experimentação em Estruturas da UFSC, através de ensaios com painéis de parede em tamanho real.

Nesta etapa da pesquisa, os ensaios de painéis de parede visavam verificar a estabilidade quanto ao comportamento estrutural de uma edificação construída sob o Sistema Plataforma, ligada diretamente ao comportamento dos painéis verticais, já que os mesmos têm a função autoportante. Baseando-se em dois tipos de configuração de painéis, denominados *Battistella* e *Habitare*, através de ensaios buscou-se compará-los experimentalmente segundo um carregamento horizontal ao longo da parede, representando o efeito do vento, e também segundo um carregamento vertical, representando as cargas gravitacionais permanentes e acidentais, ou seja, o carregamento oriundo dos pavimentos superiores e da cobertura.

A denominação dos painéis indica o modo ou as técnicas construtivas aplicadas em sua construção. Os painéis *Battistella* apresentavam as configurações do sistema utilizado pela empresa, e também observados na construção do protótipo tecnológico na UFSC. Nos painéis *Habitare*, foram aplicadas as técnicas estudadas e propostas na segunda fase do projeto. Os painéis confeccionados para as duas etapas experimentais, tanto para o carregamento vertical como para o horizontal, tinham a ossatura composta de peças de *pinus* maciço de seção 38 mm x 89 mm, com montantes espaçados a aproximadamente 400 mm. Na fixação das chapas de fechamento em OSB o afastamento entre pregos foi de 150 mm para os pregos utilizados no contorno extremo das chapas e 300 mm para os pregos utilizados nos dois montantes internos de composição da ossatura.

Para os ensaios de carga vertical foram produzidos módulos de painéis individuais de dimensões 1220 mm x 2440 mm, que são as medidas da chapa

de fechamento em OSB utilizada. Foram confeccionados módulos de painéis cegos, que serviram como parâmetro de referência de resistência ao carregamento vertical, e também painéis com aberturas de janelas, onde foi possível realizar a comparação entre as duas diferentes configurações de vergas, *Battistella* e *Habitare*. Esta última apresentando elementos conhecidos como umbrais fazendo a sustentação da verga (Figura 48).

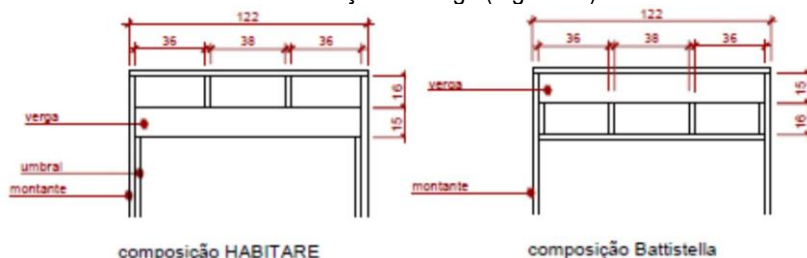


Figura 48 – Composição das vergas dos painéis *Habitare* e *Battistella*. Fonte: SZÜCS et al, 2007.

De forma resumida, os resultados médios alcançados de limites de resistência estão representados na Tabela 3, de onde se conclui que o painel proposto *Habitare* oferece um limite de resistência 82,5% superior à do painel *Battistella*. Isto mostra que a verga apoiada em umbrais é a solução mais aconselhada para os painéis com aberturas, e que na solução sem umbrais a baixa resistência na sua fixação aos montantes laterais das aberturas pode, com o tempo, causar uma pressão sobre as portas e janelas acarretando no mau funcionamento das mesmas (VELLOSO et. al, 2008).

Tabela 3 - Resultados médios alcançados no ensaio de carga vertical. Fonte: adaptação VELLOSO et. al, 2008

PAINEL	resistência	%
Módulos cegos (utilizados como referência)	65220 N	100%=referência
Módulos com vergas sem umbrais (Battistella)	19330 N	30% referência
Módulos com vergas com umbrais (Habitare)	35250 N	54% referência

As paredes de painéis estruturais confeccionadas para os ensaios de carga horizontal apresentam a seguinte composição: paredes em “L”, de lado menor de comprimento 1220 mm, composto por painel cego, e lado maior medindo 3660 mm, composto de três módulos, porta, janela e cego, respectivamente. A diferença entre as composições *Battistella* e *Habitare* foi dada pela ligação entre os módulos que compõem o canto da parede em “L”, que na solução *Habitare* contém montante duplo. Diferia também na forma de fabricação da parede. A solução *Battistella* era formada por módulos individuais

de 1220 mm x 2440 mm, erguidos e unidos uns aos outros no momento da fixação à fundação (Figura 49). Já o painel *Habitare* apresenta um maior grau de industrialização, uma vez que foi confeccionado como uma parede ou painel inteiro de dimensões 3660 mm x 2440 mm.



Figura 49 – Esquema de ensaio de carga horizontal *Battistella*. Fonte: SZÜCS et al, 2007.

O resumo dos resultados dos ensaios das paredes submetidas ao carregamento horizontal, representado na Tabela 4, indica que em termos de resistência, ambas as soluções apresentam valores equivalentes, já que nesse tipo de ensaio o painel cego acaba se tornando responsável pela resistência do conjunto, isso porque os módulos com abertura de janela e porta pouca resistência oferecem a esse tipo de solicitação. Porém, sob o ponto de vista da rigidez do conjunto, e movimento vertical de arrancamento do canto, a parede *Habitare*, para um deslocamento igual à parede *Battistella*, suportou praticamente o dobro da carga da mesma, devido à configuração do canto estar mais bem resolvida. Ou seja, a parede *Habitare* apresenta maior rigidez que a parede *Battistella* (VELLOSO et. al, 2008).

Tabela 4 - Resultados médios alcançados no ensaio de carga horizontal. Fonte: adaptação VELLOSO et. al, 2008.

	PAINEL	resistência
<i>Battistella</i>	Parede composta por módulos pré-fabricados	20634,50N
<i>Habitare</i>	Parede pré-fabricada de forma panelizada	20952,30N

De acordo com os resultados da etapa experimental da pesquisa, de uma forma geral, as paredes produzidas pela pré-fabricação de um único painel, apresentaram resultados superiores no que diz respeito à rigidez do conjunto, tanto pela composição do encontro de canto entre paredes como pelo melhor controle de produção da parede como um todo, que no canteiro de obras não acontece com o mesmo rigor da linha de produção em fábrica.

Independentemente do grau de industrialização incorporado no sistema construtivo, existem detalhes construtivos relativos à fabricação e montagem dos painéis de parede que não podem ser negligenciados. Os painéis com aberturas de portas e janelas apresentam menor resistência, e sua composição deve apresentar vergas devidamente apoiadas sobre umbrais. E quanto à ligação entre painéis de parede dispostos perpendicularmente, deve-se atentar para que o encontro de canto esteja bem solucionado. Isto significa que os montantes extremos dos painéis devem proporcionar uma pregação adequada das chapas de fechamento, conferindo a rigidez necessária entre os painéis.

3.5. REFERÊNCIA nº 4: PROJETO EDUCAÇÃO EM MADEIRA UNESP

No Projeto Educação em Madeira, coordenado pelo professor Guilherme Stamato, construíram-se duas salas de aula em madeira no campus da UNESP de Itapeva no ano de 2009, utilizando o Sistema Plataforma e com material cedido pelas empresas parceiras. As salas foram construídas e montadas pelos alunos do curso de Engenharia Industrial Madeireira, auxiliados por funcionários da Prefeitura Municipal de Itapeva.

A fundação utilizada foi do tipo sapata corrida, sendo que para garantir o isolamento da umidade na base de fixação das paredes à fundação foi concretado um degrau com 30 mm de altura (Figura 50).



Figura 50 – Fundação e contrapiso das salas de aula construídas no sistema leve em madeira. Fonte: STAMATO, 2009.

Toda a ossatura em madeira é composta de peças de seção transversal em *pinus* tratado com CCA. Para as chapas de fechamento foram utilizadas as chapas de OSB de espessura 12 mm. As salas de aula são de pavimento simples, não havendo entrepiso ou pisos superiores. Como piso da edificação foi construído um contrapiso, que recebeu acabamento de cimento queimado ao final da execução das salas de aula. Na sequência estão descritas as etapas de construção dos subsistemas que compõem as salas de aula edificadas.

3.5.1. Paredes

Os painéis de parede foram dimensionados de forma que se apresentassem leves o suficiente para serem carregados e manipulados por duas ou no máximo quatro pessoas. A ossatura dos painéis foi composta de peças de seção transversal 38 mm x 90 mm. Os montantes foram espaçados a cada 600 mm, levando em consideração a posterior aplicação das placas de gesso acartonado como revestimento interno das paredes. Isto fez necessário o recorte de 20 mm das chapas de OSB, fazendo que uma de suas dimensões passasse de 1220 mm para 1200 mm, ajustando-se à modulação das placas de gesso. Cada painel tem superfície de área aproximada de 7m², e foram pré-fabricados com as chapas de fechamento aplicadas na face externa da parede. O espaçamento entre pregos utilizado na fixação das chapas de OSB à ossatura foi de 200 mm nas extremidades e 300 mm no centro dos painéis. A ancoragem dos painéis à fundação foi feita por parafusos chumbadores, de 3/8" ou 9,5 mm de diâmetro, unidos a cantoneiras metálicas, em pontos estratégicos como extremidades dos painéis, cantos de parede e aberturas de portas (Figura 51), utilizando no mínimo um par de cantoneiras por painel.



Figura 51 – Paredes da sala de aula. Fonte: STAMATO, 2009.

Devido à altura dos painéis e o pé-direito de 3000 mm, superior à maior dimensão da chapa de fechamento, que é 2440 mm, foram incorporadas à ossatura travessas intermediárias ou bloqueadores de mesma seção transversal, 38 mm x 90 mm. Como pode ser observado na Figura 51, foi também inserido um bloqueador a uma altura de 1220 mm, que no caso de um incêndio, cumpre a função de barreira anti-chama, dificultando o alastramento das chamas. Nas aberturas de portas e janelas foram inseridos elementos conhecidos como vergas, devidamente apoiados sobre umbrais, dimensionadas para suportar as cargas provenientes do subsistema telhado.

3.5.2. Telhado

A estrutura do telhado foi composta por treliças pré-fabricadas com chapas prego. O dimensionamento e cálculo das ligações foram baseados no Boletim Técnico da empresa *Gang-Nail®*, fabricante de conectores de aço para estruturas de madeira. A montagem se iniciou com o içamento das treliças auxiliado por um caminhão guindaste do tipo *Munk*, que reduz consideravelmente o tempo de montagem. Esta etapa também foi facilmente executada manualmente, com o esforço conjunto de dois funcionários (Figura 52), devido ao baixo peso das estruturas treliçadas, que possuem aproximadamente 8000 mm de comprimento. As treliças foram fixadas às travessas superiores dos painéis de parede através de conectores metálicos, como visto no item 3.1.5. Depois de posicionadas, as treliças também receberam contraventamento provisório até sua fixação e travamento com as chapas de OSB (Figura 53). Após as chapas de fechamento, foi aplicada a manta de subcobertura em fibra de vidro, revestida de superfície aluminizada, com a função de garantir o isolamento térmico do telhado. Posteriormente, foram fixados os contracaimbros, as ripas e as telhas cerâmicas, concluindo a cobertura.



Figura 52 – Instalação das treliças pré-fabricadas. Fonte: STAMATO, 2009.



Figura 53 – Instalação das chapas de fechamento da cobertura e da manta impermeabilizante das paredes. Fonte: STAMATO, 2009.

3.5.3. Acabamentos

Logo depois de erguidos, os painéis de parede receberam a aplicação da manta de barreira de vento e umidade do tipo *housewrap* (Figura 53). Internamente, as paredes foram revestidas com placas de gesso acartonado, que receberam massa corrida e pintura em sua superfície. Revestimento externo em tábuas de madeira encaixadas horizontalmente do tipo *siding* e também com massa do tipo *estucco*.

Para a execução do *estucco*, a parede de madeira, com sua superfície de OSB revestida com a membrana *housewrap*, recebeu uma camada de papel Kraft, de gramatura média, para melhorar a aderência da massa, e sobre o mesmo foi aplicada uma tela plástica, com trama do tipo galinheiro. O papel e a tela foram fixados à parede com um grampeador, assim como a manta. Primeiramente é aplicado o chapisco, com etapas posteriores de aplicação de massa grossa (Figura 54), massa fina e pintura, fazendo com que a parede pronta ficasse com uma aparência de alvenaria.



Figura 54 – Aplicação de tela e chapisco na parede com acabamento do tipo *estucco*.
Fonte: STAMATO, 2009.



Figura 55 – Revestimento do tipo *siding* nas paredes externas. Fonte: STAMATO, 2009.

Nas paredes revestidas externamente com *siding* em madeira foram utilizadas régua tratadas com o preservativo CCA e régua de madeira que receberam

apenas acabamento de pintura com produto do tipo *stain*, ou verniz impregnante, a fim de se fazer uma comparação da durabilidade dos materiais submetidos às mesmas condições climáticas ao longo do tempo. O *siding* foi pregado a ripas instaladas sobre as paredes no sentido vertical, formando um colchão de ar responsável pela ventilação do revestimento externo, protegendo as paredes da ação da umidade (Figura 55).

Antes de se iniciar a etapa de fechamento e acabamento interno das paredes, as instalações elétricas foram executadas por equipe especializada contratada pela UNESP. As paredes receberam isolamento acústico através da instalação de manta isolante, sendo encaixadas nos vãos ou nichos existentes entre os montantes das paredes. As mesmas foram cortadas manualmente com tesoura no tamanho desejado. Posteriormente, as placas de gesso foram parafusadas à ossatura das paredes e também à estrutura de madeira montada nos vãos entre as treliças de cobertura, neste caso, para a confecção do forro do teto (Figura 56). Depois de fixadas, as placas de gesso receberam aplicação de massa e fita de rejunte, para depois as paredes serem concluídas com a pintura, realizada de duas maneiras, com uso de massa corrida ou não.



Figura 56 – Manta de isolamento acústico colocada nos nichos dos painéis e aplicação do gesso acartonado. Fonte: STAMATO, 2009.

A utilização de diferentes tipos de revestimento externo demonstra a versatilidade de acabamentos que o sistema construtivo proporciona, mesmo em se tratando de um sistema em madeira, que à primeira vista só comportaria revestimentos do mesmo material.

Durante a execução das salas de aula do Projeto Educação em Madeira constatou-se a facilidade de se construir sob o sistema leve em madeira, já que a equipe responsável pela mão-de-obra nunca havia tido experiência com este tipo de sistema construtivo, e pôde realizar todas as etapas sem muitos problemas, obtendo um resultado final de qualidade. É claro que, grande parte da equipe era composta por alunos universitários, que possuem um nível de

entendimento e compreensão superior ao dos operários que costumam compor as equipes de mão-de-obra na construção civil em nível nacional. A equipe de pesquisa também realizou uma análise de custos preliminar, indicando também a viabilidade econômica do sistema.

Apesar dos relatórios finais de pesquisa não disporem de todas as informações técnicas a respeito do projeto e da execução das salas de aula em Itapeva, nota-se que muitos detalhes construtivos inerentes ao sistema Plataforma foram utilizados de forma criteriosa. Estes detalhes são responsáveis pelo bom desempenho da edificação durante o seu uso. No Brasil, a grande maioria das empresas que comercializam edificações construídas em madeira não utiliza ou simplesmente desconhece estas técnicas. Falta no país uma transferência de conhecimento do meio científico para o segmento empresarial, para que dessa forma os produtos comercializados apresentem um desempenho satisfatório, fazendo com que a população possa confiar nas casas de madeira.

De uma forma geral, esse tipo de iniciativa, da construção de um exemplo real em que os usuários podem inclusive conferir no dia-a-dia as vantagens, por exemplo, do conforto térmico e acústico que a edificação proporciona, contribui para comprovar as vantagens do sistema leve em madeira e chamar a atenção de empresários e do poder público, transformando de forma positiva a imagem depreciativa das edificações em madeira no Brasil.

CAPÍTULO 4. DETALHES E CRITÉRIOS DE PROJETO APLICADOS NO SISTEMA PLATAFORMA

Além de tentativas isoladas de algumas empresas em comercializar casas construídas sob as técnicas do Sistema Plataforma, começam a surgir algumas iniciativas de maior consistência no sentido de alavancar o uso do sistema leve em madeira no setor da construção civil no Brasil. Segundo artigo publicado na Revista Técnica em Outubro de 2009 foi montada uma comissão composta por representantes do setor madeireiro e da construção civil, que através de reuniões e do “Fórum para desenvolvimento de casas de alta tecnologia” organiza frentes de trabalho para discutir a divulgação do sistema leve em madeira ou *Wood Framing* no país, levando em conta a realidade nacional de clima e mercado. Um dos principais objetivos da comissão é a homologação do sistema construtivo pelo Sinat (Sistema Nacional de Avaliações Técnicas), que faz a avaliação de novos produtos utilizados nos processos da construção civil, para que o mesmo possa ser contemplado pela rede de financiamento da Caixa Econômica Federal. Entre as outras ações da comissão está a criação de centros de formação e treinamento de mão-de-obra qualificada e a padronização da madeira que será utilizada como matéria-prima. A comissão acredita ainda que, após quebrar o preconceito das instituições reguladoras e acabar com a imagem associada à casa de madeira no Brasil, que é de baixa tecnologia e pouca versatilidade, será possível enxergar as mesmas como casas de alta tecnologia e sustentáveis, produzidas sob rigoroso controle de qualidade e com as vantagens intrínsecas a esse sistema construtivo, como o rigor dimensional de um sistema industrializado, a rapidez, a flexibilidade e o conforto térmico e acústico.

Dentro deste panorama atual, haja vista a possibilidade de se fabricar casas sob o Sistema Plataforma em diferentes graus de industrialização, o referente ao sistema panelizado se apresenta mais adequado à realidade brasileira, podendo ser um primeiro estágio a ser alcançado, em virtude do até então, baixo nível de desenvolvimento do setor de edificações em madeira no país. A fabricação de elementos e componentes para o sistema panelizado constitui uma etapa preliminar da produção de casas totalmente industrializadas e com alto grau de tecnologia aplicada. Na América do Norte, a grande maioria das indústrias fabricantes de componentes para o sistema panelizado costuma utilizar equipamentos modernos e de controle numérico, porém os mesmos poderiam ser fabricados com menos infra-estrutura e maquinário mais simples, comumente encontrados em serrarias no Brasil, mas com rigoroso controle dimensional no processo de fabricação, para que a montagem e interconexão entre os elementos de piso, parede e cobertura não sejam afetados.

O processo construtivo do sistema panelizado pode ter diferentes níveis de pré-fabricação, onde seus elementos podem ser parcial ou totalmente pré-fabricados. Por exemplo, os painéis podem ser pré-fabricados como módulos simples, nas dimensões padrão das chapas de fechamento que definem sua coordenação modular, ou como um painel inteiro, de modo que a parede chegue praticamente pronta no canteiro de obras. O mesmo acontece com as plataformas de piso, que podem ser montadas na obra ou até mesmo chegarem prontas ao local da construção. É claro que elementos de dimensões maiores irão requerer equipamentos específicos para a montagem, como guias e guindastes, além de poderem representar um custo mais elevado de transporte da fábrica até o canteiro. O que irá definir o grau de industrialização será uma análise detalhada da relação custo x benefício, levando em conta o tempo de execução e os custos de mão-de-obra da pré-fabricação e montagem, além dos custos durante a execução e do transporte até o local da obra do material vindo da fábrica.



Figura 57 -- Etapas de montagem de edificação construída no sistema panelizado em madeira. Fonte: nahb.com, 2009.

Independentemente do nível de pré-fabricação, no sistema panelizado todos os elementos e componentes devem respeitar a mesma coordenação modular, para proporcionar a conectividade entre os subsistemas e evitar o desperdício de matéria-prima na pré-fabricação. Além disso, o projeto da edificação deve estar baseado nos detalhes construtivos inerentes ao seu bom funcionamento e desempenho.

Nesse sentido, será apresentado a seguir um resumo das diretrizes e critérios de projeto que podem ser aplicados na construção de edificações no Sistema Plataforma, referindo-se a um grau de industrialização aproximado ao sistema panelizado. As informações contidas nos itens deste capítulo são o resultado de uma análise das referências estudadas no capítulo anterior. Estão organizadas pelos critérios mais relevantes relativos aos subsistemas que compõem as edificações construídas no Sistema Plataforma, assim como no Capítulo 3.

4.1. CONTRAVENTAMENTO DOS PAINÉIS

As diagonais usadas no contraventamento da ossatura dos painéis de parede, em especial nos encontros de canto foram aos poucos sendo substituídas pelas chapas de madeira reconstituída (ver Figura 58), principalmente as chapas de OSB. Os códigos norte-americanos podem parecer um pouco confusos em relação aos requerimentos exigidos para o contraventamento dos painéis, já que podem variar em função da existência de aberturas de portas e janelas, da distância mínima permitida ou largura mínima de painel entre aberturas, entre outros aspectos, por isso a utilização de chapas no contraventamento de toda a ossatura das paredes da edificação é uma forma de garantir a estabilidade estrutural e a resistência frente às cargas laterais, como as de vento. As chapas devem ser pregadas à ossatura de em uma das faces do painel, e quando for uma parede externa, a chapa deve estar, de preferência, na face externa, como aparece na imagem da Figura 59. O espaçamento médio entre pregos deve ser de 300 mm no centro e de 150 mm na borda, de acordo com o *IRC* (2009) e o *Eurocode 5* (2004). A chapa deve ser pregada em todos os elementos da ossatura.

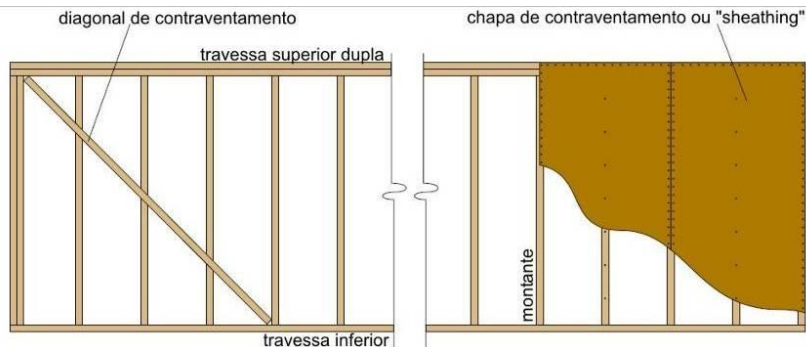


Figura 58 – Contraventamento da ossatura da parede. Fonte: adaptação APA, 1999.



Figura 59 - Casa em construção com painéis de parede revestidos com chapas de OSB na face externa. Fonte: APA, 2008.

4.2. ANCORAGEM DAS PAREDES À FUNDAÇÃO

No Sistema Plataforma, a ancoragem dos painéis do pavimento térreo, sobre a fundação, deve ser feita pela fixação da travessa inferior do painel diretamente na fundação, através de ganchos metálicos concretados na estrutura de base ou por meio de parafusos chumbadores, conforme ilustrado na Figura 60. Os ganchos podem ser posicionados fixados a um gabarito provisório (régua de madeira), que é descartado após a cura do concreto, como aparece na Figura 60, que retrata uma base ou fundação do tipo radier. Outra maneira, mais facilmente executada no caso de uma fundação com vigas baldrame, seria posicionar os ganchos metálicos isoladamente durante a etapa de concretagem (Figura 61). Ambas as maneiras são de fácil execução e os ganchos metálicos podem inclusive ser confeccionados no próprio canteiro de obras, com as mesmas ferramentas usadas para dobrar as barras de aço da armadura, só que utilizando barras de aço rosqueadas e galvanizadas.



Figura 60 – Fixação de *parabolt* (à esquerda) e dos ganchos de ancoragem na fundação do tipo radier antes da concretagem (à direita). Fonte: SZÜCS et al, 2004.



Figura 61 – Fixação dos ganchos de ancoragem em viga baldrame junto à concretagem.

Algumas recomendações referentes à quantidade de parafusos de ancoragem e suas características devem ser observadas. No caso de painéis com aberturas de portas, por exemplo, que apresentam ossatura menos resistente no que diz respeito à composição estrutural, seria recomendado colocar um parafuso ao lado de cada montante contíguo à porta. Logo, para o posicionamento dos ganchos de ancoragem deve ser feito um estudo preliminar do projeto, atentando para a existência de aberturas e buscando cumprir o espaçamento conforme essas indicações, e também de acordo com as recomendações do IRC (2009) descritas na Tabela 5.

Tabela 5 – Recomendações para ancoragem dos painéis à fundação. Fonte: IRC, 2009.

ANCORAGEM DOS PAINÉIS À FUNDAÇÃO (IRC, 2009)
parafusos com diâmetro mínimo de 1/2" ou 12,7 mm
mínimo de dois parafusos por módulo de painel fixado à fundação
espaçamento máximo de 1829 mm entre parafusos

4.3. PAREDES ESTRUTURAIS

Os elementos da ossatura em madeira dos painéis de parede, basicamente **montantes** e **travessas**, são peças maciças de seção transversal aproximada de 40 mm x 90 mm. Esta seção reduzida pode ser facilmente encontrada no varejo, principalmente nas espécies de rápido crescimento e em madeiras mais jovens, como as provenientes de florestas plantadas. Os **montantes** devem ter altura suficiente para vencer o pé-direito desejado e podem estar espaçados a aproximadamente 400 mm ou 1220/3 mm. Para tal espaçamento, a espessura mínima das chapas de fechamento do tipo OSB recomendada é de 10 mm. Nas aberturas de portas e janelas devem ser incorporados os elementos especiais citados no item 3.1.3, de modo que as **vergas** estejam apoiadas sobre **umbrais**, também representados na Figura 62. Nos encontros de canto entre paredes, os montantes múltiplos garantem a fixação das chapas de revestimento interno. A ossatura é então composta de montantes (peças verticais) pregados às travessas inferiores e superiores (peças horizontais). Nos pisos térreos a **travessa inferior dupla** facilita a montagem das paredes, pois a primeira travessa, chamada de guia de ancoragem, será fixada nos ganchos metálicos presos à fundação e posteriormente os painéis são pregados a ela. Os painéis de parede podem chegar parcialmente prontos ao canteiro de obras, com as **chapas de fechamento** do tipo OSB, correspondentes a uma das faces do painel, já

pregadas à ossatura. Depois de posicionados, os painéis são unidos através da **travessa superior dupla**. Se o painel tiver altura igual ao maior lado da chapa de fechamento utilizada, disposta verticalmente, será possível atender à exigência de todo o perímetro da borda da chapa estar pregado na ossatura. Caso contrário, ou seja, se a altura da chapa não corresponder à altura do painel, é necessário adicionar à ossatura alguns elementos horizontais extras, chamados de **bloqueadores**, para garantir essa pregação periférica em todo o contorno da chapa. Os pregos utilizados na montagem dos elementos da ossatura, assim como para a fixação das chapas devem ser do tipo anelado, por serem capazes de conferir às paredes uma maior resistência e rigidez do que os pregos lisos. Esta indicação de pregos é válida na montagem de todos os elementos, tanto de ossatura quanto de fechamento, que irão compor a edificação no Sistema Plataforma em madeira.

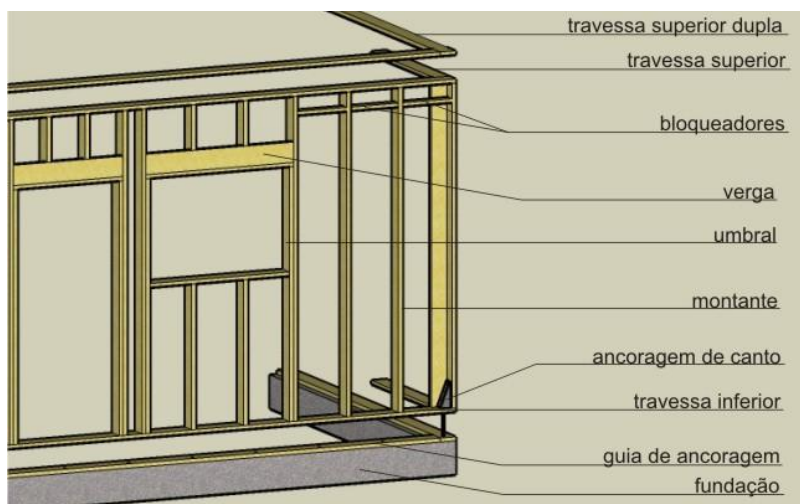


Figura 62 – Elementos da composição do painel de parede.

Tabela 6 – Recomendações para paredes estruturais segundo o IRC (2009).

PAINÉIS DE PAREDE ESTRUTURAIS			
seção montantes	espaçamento montantes	chapa de fechamento	fixação da chapa
(transversal)	(centro a centro)	(OSB)	(distância entre pregos)
40 mm x 90 mm	400 mm	espessura mín. 10 mm	150 mm na borda 300 mm no centro
40 mm x 90 mm	600 mm	espessura mín. 12,5 mm	

A espessura das chapas de fechamento irá variar de acordo com o espaçamento entre montantes, conforme a Tabela 6, respeitando a distância máxima permitido entre pregos. Nos módulos individuais, as chapas de OSB serão pregadas no sentido vertical, e nos módulos de dimensões maiores, as chapas podem ser pregadas no sentido horizontal, sendo necessária a inserção de elementos bloqueadores na ossatura do painel.

Num sistema panelizado, o tamanho do painel de parede pré-fabricado acaba sendo definido por alguns parâmetros já citados anteriormente. Por exemplo, o tamanho do painel tem relação direta com a necessidade de maquinário durante a montagem da edificação e também com o transporte do material, da fábrica até o canteiro de obras, havendo necessidade de se equacionar todos esses custos. Para a realidade brasileira, pode se pensar, num estágio inicial, em fabricar painéis não muito grandes, ou seja, painéis que possam ser carregados por operários, como os da Figura 63, sem a necessidade de utilizar maquinários como guindastes ou guas.



Figura 63 – Montagem dos painéis de parede realizada por operários em sistema panelizado.

Fonte: www.servicemagic.com, 2009.

Desta forma, quando não se utilizar módulos de painéis individuais na composição das paredes, pode se pré-fabricar módulos de painéis com comprimento igual a 2440 mm. Esta dimensão corresponde a duas chapas de fechamento dispostas no sentido vertical ou uma chapa no sentido horizontal. Considerando um pé-direito de aproximadamente 3000 mm, o módulo de painel teria em média uma área de 7m². Esses painéis, assim constituídos, podem ser facilmente transportados por dois ou três operários no canteiro de obras.

Primeiramente os painéis são erguidos pelos operários, recebendo um contraventamento provisório. Considerando a utilização de painéis pré-fabricados com a chapa de fechamento pregada na face externa da parede, a partir deste estágio de montagem da edificação, são executadas pela parte interna da mesma as instalações elétricas, hidro-sanitárias, e também a colocação das mantas de isolamento térmico e acústico. Depois de concluídas estas etapas, o fechamento interno das paredes é realizado, e posteriormente é aplicado o acabamento final.

4.4. PLATAFORMAS DE PISO

As plataformas de piso no sistema panelizado, e também outros componentes como já explicado no caso dos painéis, também poderiam chegar prontas ao canteiro de obras. Entretanto, isto acarretaria num custo mais elevado de transporte e a necessidade de um guindaste para realizar a colocação da plataforma sobre as paredes estruturais da edificação (Figura 64). Por estes motivos, e em se tratando de se construir no sistema panelizado, pensando principalmente na economia de mão-de-obra e de outros custos inerentes à montagem da edificação, seria melhor utilizar as **vigas de perfil I** pré-fabricadas e realizar a montagem do entrepiso ou plataforma de piso no próprio canteiro de obras. Os elementos que compõem a plataforma são as **vigas**, os **bloqueadores** e as **chapas de fechamento**. A superfície plana da plataforma deve ser composta por **chapas de fechamento**, que de acordo com o IRC (2009) devem ser dispostas com sua maior dimensão perpendicular às vigas. Quando as vigotas da plataforma são dispostas a cada 400 mm, as chapas devem ter espessura mínima de aproximadamente 16 mm, se utilizadas chapas de OSB (ver Tabela 7). Assim as vigas também podem, em sua maioria, ter suas extremidades apoiadas sobre os montantes dos painéis de parede, já que o espaçamento entre os montantes da ossatura do painel também segue a mesma modulação.



Figura 64 – Plataforma de piso içada por guindaste. Fonte: PATH, 1998.

Tabela 7 – Recomendações para plataformas de piso segundo o IRC (2009) e o UBC(1997).

PLATAFORMAS DE PISO		
espaçamento entre vigotas	chapa de fechamento	fixação da chapa
(centro a centro)	(OSB)	(distância entre pregos)
400 mm	espessura mín. 16 mm	150 mm na borda 300 mm no centro
600 mm	espessura mín. 19 mm	

As vigotas são apoiadas e pregadas à dupla travessa superior das paredes portantes do pavimento inferior, ou então na guia de ancoragem da fundação, no caso de uma plataforma de piso térreo (Figura 65). Para permanecerem travadas entre si, deve-se pregar uma chapa de fechamento lateral com altura igual à das vigotas nas suas extremidades, e o mesmo procedimento pode ser adotado nas laterais das vigotas que ficam nas bordas ou extremidades da plataforma de piso (Figura 66).



Figura 65 - Vigas de perfil sendo pregadas à guia de ancoragem. Fonte: APA, 2000 (apud SANTOS, 2005, p.18)



Figura 66 – Chapas de fechamento nas extremidades(e) e laterais(l) das vigas de piso.

Fonte: www.apawood.org

O travamento da estrutura de piso estará completo quando as chapas da superfície plana forem pregadas às vigas de perfil I e aos **bloqueadores** (ver Figura 67), na forma de barrote maciços, que para o espaçamento de 400 mm entre vigotas podem ter seção transversal igual às peças da ossatura dos painéis de parede, que é de 40 mm x 90 mm.



Figura 67 – Fixação das chapas de OSB nas vigas "I" e nos bloqueadores. Fonte: SANTOS, 2005.

O espaçamento entre os bloqueadores irá variar em função das dimensões da chapa de fechamento, desde que exista um barrote bloqueador

em cada extremidade da chapa, garantindo a sua fixação. Resumindo, pregando-se uma chapa de dimensões 1220 mm x 2440 mm de modo que sua maior dimensão fique perpendicular às vigotas, a mesma estaria apoiada em seis vigotas, se utilizado espaçamento aproximado de 400 mm entre as mesmas. Desta forma, no outro sentido poderiam existir bloqueadores em cada lateral ou borda da chapa, além de mais um intermediário, fazendo um espaçamento entre eles de aproximadamente 600 mm, ou seja, seriam três linhas de bloqueadores por chapa pregada. Assim, ao se olhar em planta baixa a ossatura do piso apresentaria um reticulado retangular de aproximadamente 400 mm x 600 mm. A distância máxima entre pregos permitida deve seguir as recomendações da Tabela 7, de 150 mm nas bordas da chapa e 300 mm no centro.

4.5. TELHADOS

O telhado de uma edificação construída no sistema panelizado, assim como as plataformas de piso, forma um diafragma de madeira responsável por suportar as cargas laterais incidentes na edificação. É normalmente composto por estrutura de **treliças pré-fabricadas**, pelas **chapas de fechamento**, que fazem o contraventamento, além de caibros, contracaibros, ripas, telhas e mantas de isolamento e impermeabilização. Nos países norte-americanos na montagem de uma edificação construída no Sistema Plataforma, muitos telhados chegam com a sua estrutura completa para serem colocados sobre as paredes já erguidas (Figura 68). Como já foi citado anteriormente, isto representaria um estágio muito avançado para a realidade das construções em madeira no Brasil. Logo, a princípio, as treliças podem ser previamente fabricadas na indústria com ligações por chapas-prego e transportadas para o canteiro para então a estrutura do telhado ser montada.



Figura 68 - Estrutura de telhado içada por guindaste e colocada sobre as paredes da edificação. Fonte: PATH, 1998.

As treliças pré-fabricadas podem estar espaçadas entre si a aproximadamente 600 mm, ou de preferência outra medida que seja uma fração das dimensões das chapas de fechamento, otimizando o seu uso e evitando desperdícios com recortes. Dependendo do projeto estrutural da cobertura, são compostas por peças de madeira maciça de seção reduzida, variando de acordo com o vão livre. Por serem estruturas leves, para construções de pequeno e médio porte, podem ser facilmente carregadas pelos operários e posicionadas sobre as paredes sem necessitar da utilização de máquinas como guindastes. Depois de posicionadas sobre as paredes portantes, as treliças recebem um contraventamento provisório até que as chapas de fechamento estejam a elas fixadas por pregos. Do mesmo modo que nas plataformas de piso, as chapas devem ser pregadas com sua maior dimensão em sentido perpendicular à estrutura (treliças ou caibros), contribuindo no contraventamento, conforme o IRC (2009). As chapas recomendadas seriam as do tipo OSB, e a espessura recomendada irá variar de acordo com o espaçamento entre as treliças (Tabela 8).

Tabela 8 - Recomendações para estruturas de telhado segundo o IRC (2009).

TELHADOS		
espaçamento entre treliças	chapa de fechamento	fixação da chapa
(centro a centro)	(OSB)	(distância entre pregos)
300 mm	espessura mín. 8 mm	150 mm na borda 300 mm no centro
400 mm	espessura 8 - 9,5 mm	
600 mm	espessura 9,5 - 12,5 mm	
800 mm	espessura 12 - 16 mm	

As treliças são pregadas à travessa superior das paredes portantes, sendo que esta ligação é reforçada pela utilização de conectores metálicos especiais. Estes conectores são chapas metálicas dobradas com pré-furação para os pregos que farão a fixação dos mesmos na madeira. Como pode ser observado na Figura 69, na extremidade da treliça que fica apoiada sobre a parede, o conector é pregado à travessa superior do painel de parede, e também ao banzo inferior da treliça, em ambos os lados da mesma.

Sobre as chapas de fechamento fixadas às treliças, a manta isolante de subcobertura é pregada, e posteriormente é colocado o madeiramento auxiliar necessário para cada tipo de cobertura (como ripas), e finalmente as telhas, assim como num telhado de uma edificação construída sob os métodos tradicionais.



Figura 69 – Conectores metálicos auxiliam na fixação das treliças. Fonte: STAMATO, 2009.

Dependendo da complexidade do projeto e da inclinação do telhado, sua estrutura não precisa necessariamente ser composta de treliças pré-fabricadas. Quando utilizadas as treliças, a altura do pé-direito acaba sendo definida pela altura dos painéis de parede, como na Figura 70, onde o forro de teto foi pregado aos banzos inferiores das treliças. Ao invés de estrutura treliçada, o telhado também pode ter uma estrutura convencional, utilizando peças de madeira maciça de seção retangular. Na Figura 71, a estrutura convencional do telhado proporcionou ao ambiente interno da edificação um pé-direito mais amplo, esteticamente mais agradável, acompanhando a inclinação do telhado. Nas edificações com projetos mais modulares e simétricos, com telhados mais simples, em duas ou quatro águas, e quando não existe torre para caixas d'água, a utilização de treliças na estrutura do telhado se mostra bastante pertinente e racional, proporcionando agilidade e economia no processo construtivo.



Figura 70 – Estrutura de telhado composta por treliças pré-fabricadas. Fonte: STAMATO, 2009



Figura 71 – Estrutura de telhado convencional. Fonte: APA, 2005.

A idéia de mostrar outras possibilidades para estrutura de telhado é apenas para ilustrar o quão flexível é o Sistema Plataforma, podendo se adequar a qualquer projeto arquitetônico, desde os mais simples até os mais complexos, sem perder as vantagens que o sistema proporciona. Quando se pensa num método construtivo que tem como princípios a pré-fabricação e a modulação, a associação a uma imagem de edificações do tipo “caixote” vem à tona. Porém, o sistema panelizado apenas utiliza esses princípios em busca de racionalizar o processo construtivo, proporcionando agilidade e economia, sem perder a flexibilidade.

4.6. ACABAMENTO DAS PAREDES

As paredes externas da edificação são revestidas por chapas de madeira reconstituída, como as chapas de OSB, que formam a superfície plana na qual será aplicado o acabamento final. A umidade incidente nessas paredes e a sua manutenção ao longo do tempo é um dos principais problemas a serem solucionados quando se trata de uma edificação em madeira. A solução utilizada em localidades aonde a presença de chuvas e umidade é constante é conhecida na literatura internacional como parede *rainscreen* (Figura 72).

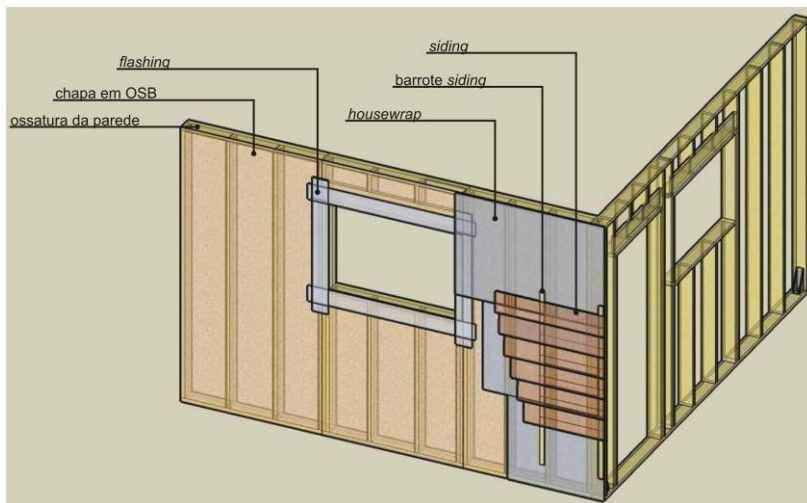


Figura 72 – Composição da parede rainscreen. Fonte: SZÜCS et al, 2007.

A parede rainscreen é composta pela **membrana de impermeabilização** ou *housewrap*, pelos **barrotes verticais** em madeira pregados sobre a membrana para formar um colchão de ar entre os dois planos (chapa em OSB e siding) e o **revestimento externo** propriamente dito, normalmente feito de réguas

horizontais encaixadas, pregadas aos barrotes verticais, fabricadas em madeira ou vinil e conhecidas como *siding*.

As régua de *siding* da parte mais baixa das paredes externas não devem próximas ao solo, evitando-se o contato com a umidade. Elas devem fazer uma espécie de pingadeira em relação à base ou fundação da edificação, de modo que a água escorra pela parede e não fique empoçada junto às régua de *siding*, evitando assim que sejam danificadas, como na Figura 73.



Figura 73 – *Siding* de madeira deve formar uma pingadeira, evitando o contato com o solo.

Na aplicação da manta de impermeabilização (housewrap), principalmente nas aberturas de portas e janelas, que são pontos vulneráveis à entrada de umidade na edificação, deve-se atentar para a sua correta instalação, visando evitar a entrada da umidade pelas frestas. A manta deve receber um corte em forma de “Y” e ser dobrada de fora para dentro da edificação, formando uma espécie de envelope na abertura do painel, e posteriormente deve ser aplicada a fita adesiva, medida conhecida como **flashing**, que busca garantir a vedação nas portas e janelas (Figura 74).

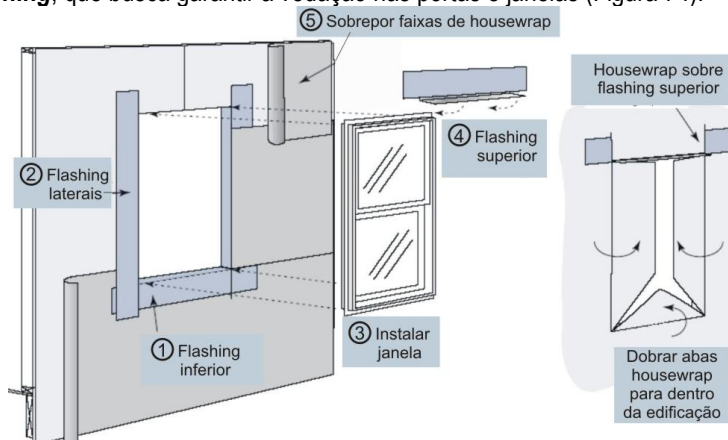


Figura 74 – Vedação do entorno das aberturas é garantida pela execução do **flashing** junto à manta de impermeabilização. Fonte: OFFICE OF BUILDING TECHNOLOGY, 2000.

É sabido também que as paredes externas de uma edificação construída sob o sistema leve em madeira permitem ainda a aplicação de revestimento em argamassa como, por exemplo, o *estucco*, fazendo com que as fachadas da construção tenham as mesmas características estéticas de uma edificação construída sob o método tradicional em alvenaria. Mais uma vez o sistema mostra a sua característica de flexibilidade, podendo o proprietário morar em uma casa de madeira sem necessariamente apresentar um revestimento com esse material.

Já o fechamento interno dos painéis de parede é normalmente feito com **chapas de gesso acartonado**, que parafusadas à ossatura em madeira conferem às paredes internas o mesmo aspecto de uma parede feita em alvenaria comum. Mas, internamente as paredes também podem ser revestidas com régua de madeira (Figura 75), pregadas diretamente à ossatura, ou sobre chapas de fechamento que também podem ser aplicadas internamente.



Figura 75 – Revestimento interno das paredes em madeira.

A casa de madeira dos dias de hoje não é mais um estereótipo fadado ao preconceito, pois, se construída sob as técnicas atuais, que evoluíram com o passar do tempo, além de proporcionar as vantagens construtivas mostradas no decorrer do texto da presente dissertação, pode ter diferentes apresentações de fachadas e acabamentos, como visto na Figura 76.



Figura 76 – Casas construídas no sistema panelizado. Fonte: www.nahb.org, 2009.

CAPÍTULO 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1. CONCLUSÕES

O emprego de sistemas e técnicas construtivas alternativas nas construções em madeira no Brasil deve ser iminente, uma vez que o mercado brasileiro se encontra estagnado e não consegue se livrar do estigma gerado pelo preconceito com a casa de madeira. Nesse sentido, a utilização das técnicas construtivas dos sistemas leves em madeira, em específico do Sistema Plataforma, mostra-se uma opção viável para a realidade brasileira, capaz de reverter este quadro de imagem negativa das construções que utilizam essencialmente este material. A partir da análise crítica de experiências conduzidas no meio científico brasileiro com o Sistema Plataforma, e de extensa revisão bibliográfica, foram organizados detalhes e critérios de projeto para este tipo de sistema construtivo, resumidos a seguir.

a. O contraventamento dos painéis, inicialmente feito através da utilização de diagonais, evoluiu para o fechamento com chapas de madeira compensada. Hoje, estas foram substituídas quase que completamente pelas chapas de OSB, que dominaram o mercado da construção civil. Sua utilização é recomendada em todas as paredes externas da edificação, conferindo resistência e rigidez às paredes portantes. Esta técnica de contraventamento também deve ser empregada nas plataformas de piso e de telhado construídas no Sistema Plataforma. O afastamento mínimo entre pregos deve ser de 150 mm nas bordas das chapas e 300 mm no centro. A espessura da chapa irá variar em função do espaçamento das peças estruturais, como montantes, vigas e treliças, e também das cargas incidentes.

b. Um critério construtivo usualmente negligenciado nas edificações em madeira no Brasil é a ancoragem das paredes à fundação. Nas casas de madeira construídas no Sistema Plataforma, que têm a base ou fundação em concreto, as paredes portantes (não há presença de pilares e vigas) devem estar ancoradas à fundação, através de elementos metálicos chumbados na mesma, e parafusados à guia de ancoragem em madeira, ou então diretamente aos painéis de parede. Devem ser utilizados no mínimo dois parafusos por painel, distantes não mais do que 1829 mm, e o diâmetro mínimo recomendado é de 12,7 mm.

c. Os painéis de parede da edificação construída no Sistema Plataforma não são, simplesmente, estruturas compostas de ossatura em madeira

maciça e fechamento em chapas de OSB, montadas de forma aleatória. Na composição dos painéis devem ser respeitados critérios construtivos como: o espaçamento entre montantes variando de acordo com a seção transversal empregada nos mesmos; a incorporação de elementos especiais como vergas e umbrais nas aberturas de portas e janelas; a utilização de travessa superior dupla para garantir a união dos painéis; o uso de montante duplo nos cantos entre painéis; a inclusão de elementos bloqueadores para garantir a pregação em toda a borda das chapas de OSB; e, também, o espaçamento máximo exigido entre pregos nas ligações das chapas com a ossatura.

d. Assim como para as paredes, todos os outros subsistemas devem respeitar critérios especiais relativos à pré-fabricação e montagem. Nas plataformas de piso, a utilização de vigas de perfil I apresenta inúmeras vantagens se comparada às vigas de madeira maciça. Podem ser fabricadas no comprimento desejado, em comparação à preocupante dificuldade de se encontrar no mercado peças maciças de maior comprimento, além de serem mais leves e facilmente manuseadas. As vigas devem ser travadas entre si pelas chapas pregadas nas laterais e em suas extremidades. As chapas de OSB que formam a superfície plana devem ser dispostas perpendicularmente às vigas. A presença dos elementos bloqueadores entre as vigas contribui no contraventamento da plataforma de piso por permitir a pregação adequada das chapas.

e. Os critérios de projeto do telhado no Sistema Plataforma seguem os mesmos aplicados aos subsistemas parede e piso. A utilização de treliças pré-fabricadas na composição da estrutura do telhado, que confere agilidade à execução, deve estar associada à correta pregação das chapas de contraventamento. A fixação das treliças às paredes portantes deve ser reforçada pelo uso de conectores metálicos fazendo a ligação do banzo inferior das treliças à travessa superior dos painéis de parede.

f. Um dos maiores problemas associados às construções em madeira no Brasil é referente ao seu comportamento frente à ação da umidade. O revestimento externo das paredes, no caso o *siding*, deve ser estanque e não permitir a entrada da água. Além disso, deve conter detalhes específicos, como os da parede do tipo *rainscreen*, que assegurem a durabilidade da edificação e que também a parte interna da mesma não sofra com a ação das intempéries. A utilização da manta de impermeabilização nas paredes, associada à aplicação de fita adesiva ou *flashing* nas aberturas visa garantir esta estanqueidade.

g. Para que as técnicas e critérios construtivos possam ser empregados corretamente e, principalmente, o desempenho estrutural da edificação seja satisfatório, é necessário se ter um conhecimento do material a ser utilizado. O projeto estrutural em madeira, no caso do Sistema Plataforma o projeto dos entramados estruturais, leva em consideração as características da espécie a ser empregada. Desta forma, as madeiras devem ser comercializadas nas classes de resistência preconizadas pela norma brasileira NBR7190/97.

h. O uso indiscriminado de madeiras tratadas no país deve ser repensado, de modo que sejam indicados diferentes níveis de retenção de produto químico para determinada utilização final das peças de madeira, fazendo um uso mais racional da matéria-prima. Nesse sentido, é necessária também a busca por produtos alternativos ao CCA, como fizeram os países mais desenvolvidos, para que a cadeia da sustentabilidade da madeira não seja comprometida, já que se trata de um produto que agride o meio ambiente, e por isso deve ser empregado com maior cautela.

5.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

No sentido de complementar os objetivos alcançados com a presente dissertação, faz-se as seguintes sugestões para futuros trabalhos relacionados à construção em madeira no Sistema Plataforma:

a. Deve-se promover o financiamento de projetos e pesquisas que contemplem etapas experimentais, para que possam ser comprovados em laboratório os benefícios do Sistema Plataforma em madeira, cujos resultados serviriam de subsídio para a inserção deste novo sistema construtivo no panorama nacional. Os ensaios experimentais devem levar em conta aspectos relativos ao desempenho técnico – desempenho estrutural e comportamento ao fogo, ao desempenho térmico e acústico, à durabilidade frente à ação da umidade, e à facilidade da pré-fabricação dos componentes e montagem no canteiro de obras.

b. Para auxiliar os profissionais da área da construção civil no Brasil, e disseminar o emprego do sistema no país, sugere-se a elaboração de cartilha ou manual didático das técnicas e detalhes construtivos a serem empregados em construções que utilizam este sistema. Para tal, devem ser levadas em consideração condicionantes como clima, matéria-prima local, potencial produtivo, entre outros aspectos relativos à realidade brasileira.

c. A madeira normalmente empregada nos sistemas leves em madeira, em todo o mundo, é de espécies de pinus. A realização de estudos de caracterização física e mecânica de outras espécies de madeiras de florestas plantadas, visando sua aplicação em sistemas leves em madeira, como alternativa ao pinus, seria enriquecedora na identificação de potenciais novas espécies para a utilização nos sistemas leves no Brasil.

CAPÍTULO 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6023. **Informações e Documentação – Referências – Elaboração**. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10520. **Apresentação de citações em documentos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14724. **Informações e Documentação – Trabalhos acadêmicos – Apresentação**. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7190/97. **Projeto de Estruturas de Madeira**. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

AF&PA - AMERICAN FOREST & PAPER ASSOCIATION. **Details for conventional wood frame construction**. American Forest & Paper Association, 2001.

AF&PA - AMERICAN FOREST & PAPER ASSOCIATION. **WFCM: Wood frame construction manual for one- and two- family dwellings**. American Forest & Paper Association, 1995.

AWC - AMERICAN WOOD COUNCIL. **AF&PA Hosts Japanese/Canadian Delegation**. News Releases. Washington DC, 2008. Disponível em <<http://www.awc.org/NewsReleases/2008/NewsReleases2008.html#ixzz0fG844cfK>>. Acesso em: outubro de 2009.

APA – THE ENGINEERED WOOD ASSOCIATION. Disponível em <<http://www.apawood.org>>. Acesso em: setembro de 2009.

APA – THE ENGINEERED WOOD ASSOCIATION. **Avoiding moisture accumulation in homes**. Washington: EUA. 2003.

APA – THE ENGINEERED WOOD ASSOCIATION. **Brace walls with wood**. Washington: EUA. 2008.

APA – THE ENGINEERED WOOD ASSOCIATION. **Build energy efficient walls**. Washington: EUA. Dezembro de 2008(a).

APA – THE ENGINEERED WOOD ASSOCIATION. **Engineered Wood Construction Guide**. Washington: EUA. 2007.

APA – THE ENGINEERED WOOD ASSOCIATION. **Introduction to Lateral Design**. Wood Design Concepts. Washington: EUA. 1999.

APA – THE ENGINEERED WOOD ASSOCIATION. **Performance Rated I-Joists**. Washington: EUA. 2009(a).

APA – THE ENGINEERED WOOD ASSOCIATION. **Wood: Sustainable Building Solutions**. Washington: EUA. 2005.

APA – THE ENGINEERED WOOD ASSOCIATION. **Wood-Frame Construction Passes World's Largest Earthquake Test**. Disponível em <http://www.apawood.org/level_b.cfm?content=srv_newsinfo_34>. Acesso em: agosto de 2009(b).

BITTENCOURT, R. M.; MIYADAIRA, L. Y.. **Os sistemas construtivos em madeira comercializados no município de São Paulo**. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E ESTRUTURAS DE MADEIRA, IX, 2004, Cuiabá. Anais do 9º EBRAMEM. Cuiabá, MT. 2004.

BINSACCA, R. **Component craze: once a high-risk, untested alternative to stick-framing components are now near-necessities to many a builder's - and dealer's - profitability**. ProSales Magazine. EUA: Hanley-Wood, Inc. Janeiro de 2005.

CCW - CARLISLE COATINGS AND WATERPROOFING. Disponível em: <<http://www.carlisle-ccw.com>>. Acesso em: jul.2006.

CWC - CANADIAN WOOD COUNCIL. **Moisture and Wood-Framed Buildings**. Building Performance Series No.1. Ontario: Canada. 2000.

CWC - CANADIAN WOOD COUNCIL. **Wood trusses: strength, economy, versatility**. International Building Series No.2. Quebec: Canada. 2000(a).

CARLSON, D.O.; DLUHOSCH, E.. **Modular Structures and Related techniques. technology and the future of the U.S. Construction Industry**. Congress of the United States Office of Technology Assessment, 1984.

CASA construída no sistema balão. **Balloon framed houses**. 02 fotografias coloridas. Disponível em: <<http://www.hereandthere.org/oldhouse/balloon-framing.html>>. Acesso em novembro de 2009.

CTBA - CENTRE TECHNIQUE DU BOIS ET DE L'AMEUBLEMENT. **Construction à ossature bois**: conception et mise em oeuvre. Paris: Eyrolles, 1995. 236p.

DIAS, Gustavo Lacerda. **Estudo experimental de paredes estruturais de sistema leve em madeira submetidas à força horizontal no seu plano**. 146 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2005.

DURON MADEIRAS. **Usina de tratamento de madeiras**. Fotografia colorida. Disponível em <<http://duronmadeiras.com.br/>>. Acesso em: novembro de 2009.

EUROCODE 5. EN 1995-1-1. **Design of timber structures**. Part 1-1: General - Common rules and rules for buildings. CEN. 2004.123p.

FÓRUM PARA DESENVOLVIMENTO DE CASAS DE ALTA TECNOLOGIA. Disponível em <http://sites.google.com/site/forumwf>>. Acesso em: fevereiro de 2010.

INTERNATIONAL CONFERENCE OF BUILDING OFFICIALS (ICBO). UBC: Uniform building code, Vol. 2. Whittier, Califórnia: ICBO, 1997.

INTERNATIONAL RESIDENTIAL CODE - IRC 2009. International Residential Code. For one- and two-family dwellings. International Code Council – ICC. Disponível em: <<http://www.iccsafe.org/Store/Pages/OverviewFreeCodes.aspx>> Acesso em: 15/11/2009.

IMHOF, Afonso. **Arquitetura e Imigração Germânica: os enxaiméis na história, etnicidade e veracidade**. Disponível em <<http://www.arquivohistoricojoinville.com.br/nucleos/instituicao/artigoafonso.html>>. Acesso em: novembro de 2009.

KISS, Paulo. **Engenharia contra a crise**. Editorial. Revista Técnica. ed. 140. São Paulo: Editora Pini. Novembro de 2008.

KRAMBECK, Thaís Inês. **Revisão de sistema construtivo em madeira de floresta plantada para habitação popular**. 100 f. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Programa de Pós-graduação em Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006.

LIMA, André Luiz. **Comportamento estrutural de vigas em madeira, com seção I, de mesas em pinus maciço e alma em OSB**. 94 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2005.

Montagem de sistema panelizado. **Panelized Homes/Home Building center**. Fotografias coloridas. Disponível em <<http://servicemagic.com/resources.dg.project.Home-Building.22.35.138876.html>>. Acesso em: agosto de 2009.

MONTANA QUÍMICA. **A indústria da madeira preservada sob pressão no Brasil**. Revista Referência. Ano XI. ed. 88. Curitiba, PR: Editora Jota. Fevereiro de 2009.

NAHB - NATIONAL ASSOCIATION OF HOME BUILDERS. Disponível em <<http://www.nahb.com>>. Acesso em: setembro de 2009.

NAHB - NATIONAL ASSOCIATION OF HOME BUILDERS. **Panelized systems in residential construction**. Maryland: NAHB, 2000.

NAHB - NATIONAL ASSOCIATION OF HOME BUILDERS. **Durability by design: a guide for residential builders and designers**. Maryland: NAHB, 2002.

O'BRIEN, M.; WAKEFIELD, R.; BELIVEAU, Y. **Industrializing The Residential Construction Site**. Blacksburg: Virginia Polytechnic Institute and State University, 2000.

OFFICE OF BUILDING TECHNOLOGY. **Weather resistive-barriers: how to select and install housewrap and other weather-resistive barriers**. EUA: U.S. Department of Energy, 2000.

PATH - PARTNERSHIP FOR ADVANCING TECHNOLOGY IN HOUSING. **Building Innovation for Homeownership**. Washington, DC: U.S. Department of Housing and Urban Development, Abril de 1998.

PATH - PARTNERSHIP FOR ADVANCING TECHNOLOGY IN HOUSING. **Minimizing Moisture Problems in Manufactured Homes located in Hot, Humid Climates**. Washington, DC: U.S. Department of Housing and Urban Development, 2003.

PATH - PARTNERSHIP FOR ADVANCING TECHNOLOGY IN HOUSING. **A State-of-the-Art Review and Application of Engineering Information for Light-Frame Homes, Apartments, and Townhouses**. Washington, DC: U.S. Department of Housing and Urban Development, 2000.

REBEL HOME. Disponível em < <http://www.rebelhome.net/install.html>.> 02 fotografias coloridas. Acesso em: agosto de 2009.

REVISTA TÉCNNE. **Pronta entrega**. Reportagem. ed. 151. São Paulo: Editora Pini. Outubro de 2009.

SANTOS, Altevir Castro dos. **Pisos em sistema leve em madeira sob ação de carregamento monotônico em seu plano**. 90 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2005.

SILVA, Edna Lúcia da; MENEZES, Eстера Muszkat. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 3. ed. rev. atual. Florianópolis: Laboratório de Ensino a Distância da UFSC, 2001.121p.

SILVA, Ricardo Dias; INO, Akemi. **Habitação econômica em madeira no Brasil: estado da arte**. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E ESTRUTURAS DE MADEIRA, XI, 2008, Londrina. Anais do 11º EBRAMEM. Londrina, PR. 2008.

STAMATO, Guilherme Corrêa; JUNIOR, Aires C. de Oliveira. **Projeto Educação em Madeira**. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E ESTRUTURAS DE MADEIRA, XI, 2008, Londrina. Anais do 11º EBRAMEM. Londrina, PR. 2008.

STAMATO, G. C.; SACCO, M. **Light Wood Frame – Construções com estrutura leve de madeira**. Revista Técnica. ed. 140. São Paulo: Editora Pini. Novembro de 2008.

STAMATO, G. C. **Projeto Educação em Madeira**. Relatórios de execução de projeto de pesquisa (1 e 2). Itapeva: Unesp – Eng. Industrial Madeireira. 2009.

SZÜCS, Carlos Alberto; VELLOSO, Joana G. **Caracterização completa e estudo comparativo entre Pinus taeda e elliottii nas idades de 10anos e de 20anos**. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E ESTRUTURAS DE MADEIRA, X, 2006, São Pedro. Anais do 10º EBRAMEM. São Pedro, SP. 2006.

SZÜCS, Carlos Alberto et al. **Otimização da industrialização do sistema construtivo Battistella-UFSC**. Relatório final de projeto de pesquisa. Florianópolis: Giem – Eng. Civil/UFSC. 2007.

SZÜCS, Carolina Palermo et al. **Sistema Stella-UFSC: Avaliação e desenvolvimento de sistema construtivo em madeira de reflorestamento voltado para programas de habitação social**. Relatório final de projeto de pesquisa. Florianópolis: GHab – Arq/UFSC. 2004.

TEREZO, Rodrigo F.; VELLOSO, Joana G. **Sistemas pré-fabricados em madeira em Florianópolis**. Trabalho de conclusão de curso da Disciplina de Industrialização do Sistema Construtivo em Madeira. Setembro de 2006. PPGEC/UFSC.

THALLON, R. **Graphic guide to frame construction: details for builders and designers**. 7ª edição. Newtown: The Taunton Press, 2000.

TOPPING, R. et al. **Organizing Residential Utilities: A New Approach to Housing Quality**. Washington, DC: U.S. Department of Housing and Urban Development, 2000.

EPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Chromated Cooper Arsenate (CCA)**. Disponível em <<http://www.epa.gov/oppad001/reregistration/cca/>>. Acesso em: agosto de 2009.

VELLOSO, Joana G.; TEREZO, Rodrigo F.; SZÜCS, Carlos Alberto. **Comportamento estrutural experimental do sistema pré-fabricado plataforma em madeira**. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E ESTRUTURAS DE MADEIRA, XI, 2008, Londrina. Anais do 11º EBRAMEM. Londrina, PR. 2008.

WIJMA - WOOD I-JOIST MANUFACTURERS ASSOCIATION. Disponível em <<http://www.i-joist.org>>. Acesso em: outubro de 2009.

ANEXO 1 – GLOSSÁRIO

Este glossário foi preparado com o intuito de auxiliar na compreensão de alguns conceitos e termos relativos aos sistemas leves em madeira.

AUTOCLAVE ▪ Equipamento de grande porte, utilizado no tratamento industrial de madeiras pelo método de vácuo-pressão. A madeira é colocada no interior de autoclave, um cilindro hermeticamente fechado, onde o preservativo é injetado sob pressão e impregnado na madeira.

BLOCKING ▪ Tradução em português: BLOQUEADORES. Pequenas peças da ossatura em madeira, pregadas perpendicularmente ou em ângulo, entre elementos da ossatura de paredes, plataformas de piso e de telhado, como montantes, vigas ou caibros.

CONECTOR METÁLICO ESTAMPADO ▪ Também conhecido por CHAPA COM DENTES ESTAMPADOS ou CHAPA-PREGO. Chapa de aço dentada, usada na montagem de treliças pré-fabricadas em madeira.

CHAPA DE GESSO ACARTONADO ▪ Utilizadas em revestimentos de forros e paredes nas construções a seco, conhecidas também por *Dry-wall*. Produzidas industrialmente a partir de gipsita natural e cartão duplex. Para sua instalação, são parafusadas à ossatura em madeira, conferindo resistência ao fogo e isolamento térmico e acústico.

ENTREPISO ▪ Laje ou plataforma de piso em madeira, intermediária entre dois pavimentos.

ENRIGECEDORES ▪ O mesmo que BLOQUEADORES ou *BLOCKING*.

ESTUCCO ▪ Revestimento de parede baseado na técnica conhecida como *estucco veneziano*, originária da Itália. O revestimento é constituído de ligantes especiais que facilitam sua aplicação em várias superfícies, como: alvenaria, chapas de madeira reconstituída, chapas de gesso acartonado, entre outros.

FINGER-JOINT ▪ Emenda de topo com entalhes múltiplos. Utilizada para emendar pedaços de madeira relativamente curtos, que depois de colados, formam uma peça mais longa, no comprimento desejado.

FLASHING ▪ Termo em inglês utilizado para designar a utilização de fitas adesivas (*flashing tape*) na fixação da manta de impermeabilização em torno das aberturas de portas e janelas, visando evitar a entrada de umidade através de vento e chuva pelas frestas existentes.

GANCHO DE ANCORAGEM ▪ Responsável pela ancoragem da edificação construída no Sistema Plataforma, à estrutura de fundação. A ancoragem é feita por ganchos de ancoragem concretados na fundação, ou através de parafusos chumbadores colocados na estrutura depois de pronta.

GUIA DE ANCORAGEM ▪ Travessa em madeira, instalada em contato direto com a fundação, na qual são fixados os ganchos de ancoragem da edificação construída no Sistema Plataforma.

HOUSEWRAP ▪ Manta de impermeabilização que protege as paredes em madeira da umidade que porventura ultrapasse o revestimento externo das paredes externas da edificação.

HUD CODE ▪ *U. S. Department of Housing and Urban Development Code*. Código de construção norte-americano que traz prescrições em termos de projeto arquitetônico, do projeto estrutural, das instalações e da construção de edificações de casas industrializadas ou *manufactured homes*.

KIT ▪ Conjunto de peças ou elementos que compõem um conjunto.

MADEIRA LAMINADA COLADA ▪ Peças de madeira de grande dimensão fabricadas a partir da sobreposição e união de peças de pequena seção transversal. As peças são coladas entre si e sua união é garantida pelo adesivo e também pela prensagem das mesmas.

MANUFACTURED HOME ▪ Casa Industrializada. Casa construída no sistema leve em madeira com o maior grau de industrialização encontrado na América do Norte. A casa chega totalmente pronta ao canteiro de obras e deve obedecer ao código americano conhecido como *HUD Code*.

MONTANTE ▪ Principal elemento estrutural vertical da ossatura das paredes construídas no Sistema Plataforma.

MUNK ▪ Caminhão que possui braço telescópico com sistema hidráulico para movimentação, içamento, ou ação de carregar e descarregar materiais.

OSB ▪ *Oriented Strand Board*. Chapa de Madeira reconstituída produzida com lascas de madeira orientadas, em três camadas, sendo as duas externas na direção da maior dimensão da chapa e a interna na direção transversal, coladas e prensadas entre si. São comercializadas em dimensões padronizadas.

OSSATURA ▪ Peças de madeira maciça, de pequena seção transversal, que compõem a estrutura ou esqueleto dos painéis de parede e plataformas de piso e de telhado nos sistemas leves em madeira.

PARAFUSOS CHUMBADORES ▪ Conhecidos por *parabolts*. Chumbadores de expansão com torque radial e uniforme. Utilizados na fixação de peças em estruturas de concreto.

RADIER ▪ Fundação rasa que funciona como uma laje de concreto armado e transmite as cargas da estrutura da casa para o terreno.

RAINSSCREEN ▪ Tradução em português: “Tela para chuva”. Tipo de configuração para paredes externas de edificações construídas em regiões de clima quente e úmido.

SIDING ▪ Tábuas horizontais sobrepostas e encaixadas, pregadas à ossatura, que fazem o revestimento externo das paredes de edificações construídas em sistemas leves em madeira.

SHEATHING ▪ Chapa de contraventamento estrutural pregada à ossatura de paredes, pisos e telhados construídos no Sistema Plataforma.

STAIN ▪ Produto impregnante e fungicida, que não cria película e, portanto, não descasca nem trinca sob a ação das intempéries. Utilizado no acabamento da superfície da madeira, visando a sua proteção e embelezamento.

STRUCTURALLY INSULATED PANEL ▪ Conhecidos também pela abreviatura *SIP’S*. Painéis pré-fabricados que formam uma espécie de sanduíche, cujo

recheio é composto de espuma plástica isolante, revestida em ambos os lados por chapas de OSB.

SUBSISTEMAS ▪ Partes do sistema construtivo que, unidas entre si, formam a edificação.

TRAVERSA ▪ Elemento estrutural horizontal que faz a fixação dos montantes nas partes inferior e superior da ossatura das paredes construídas no Sistema Plataforma.

UMBRAL ▪ Elemento estrutural que compõe a ossatura das paredes com aberturas de portas e janelas e serve de apoio para os elementos conhecidos como vergas nos sistemas leves em madeira.

VERGA ▪ Elemento estrutural presente sobre as aberturas de portas e janelas nas edificações construídas nos sistemas leves em madeira, funcionando como vigas biapoiadas.

VIGA DE PERFIL I ▪ Viga em madeira de perfil I, composta de mesas em madeira maciça e alma em chapa de madeira reconstituída, fabricadas na indústria e utilizadas nas estruturas de piso do Sistema Plataforma.